

**BỘ LAO ĐỘNG - THƯƠNG BINH VÀ XÃ HỘI  
TỔNG CỤC DẠY NGHỀ**

## **GIÁO TRÌNH**

**Tên mô đun: Kỹ thuật cảm biến**

**NGHỀ: ĐIỆN CÔNG NGHIỆP**

**TRÌNH ĐỘ CAO ĐẲNG NGHỀ**

*(Ban hành kèm theo Quyết định số: 120/QĐ-TCDN ngày 25 tháng 02 năm 2013 của Tổng cục trưởng Tổng cục Dạy nghề)*



**Hà Nội, năm 2013**

## **TUYÊN BỐ BẢN QUYỀN**

Tài liệu này thuộc loại sách giáo trình nên các nguồn thông tin có thể được phép dùng nguyên bản hoặc trích dùng cho các mục đích về đào tạo và tham khảo.

Mọi mục đích khác mang tính lệch lạc hoặc sử dụng với mục đích kinh doanh thiếu lành mạnh sẽ bị nghiêm cấm.

## LỜI NÓI ĐẦU

Trong thời đại phát triển của khoa học và kỹ thuật ngày nay cảm biến đóng vai trò quan trọng. Nó là thành phần quan trọng nhất trong các thiết bị đo hay trong các hệ thống điều khiển tự động. Có thể nói rằng nguyên lý hoạt động của một cảm biến, trong nhiều trường hợp thực tế cũng chính là nguyên lý của phép đo hay của phương pháp điều khiển tự động

Giờ đây không có một lĩnh vực nào mà ở đó không sử dụng cảm biến. Chúng có mặt trong các hệ thống tự động phức tạp, người máy, kiểm tra sản phẩm, tiết kiệm năng lượng, chống ô nhiễm môi trường. Cảm biến cũng được ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực giao thông vận tải, hàng tiêu dùng, bảo quản thực phẩm, ô tô, trò chơi điện tử... Do đó việc trang bị cho mình một kiến thức về các loại cảm biến là nhu cầu không thể thiếu của các kỹ thuật viên, kỹ sư của ngành điện cũng như những ngành khác.

Môn học kỹ thuật cảm biến là môn học chuyên môn của học viên ngành điện công nghiệp. Môn học này nhằm trang bị cho học viên các trường nghề những kiến thức về nguyên lý, cấu tạo, các mạch ứng dụng trong thực tế một số loại cảm biến... Với các kiến thức được trang bị học viên có thể áp dụng trực tiếp vào lĩnh vực sản xuất cũng như trong đời sống. Ngoài ra các kiến thức này dùng làm phương tiện để học tiếp các môn chuyên môn của ngành điện như Trang bị điện, PLC... Môn học này cũng có thể làm tài liệu tham khảo cho các cán bộ kỹ thuật, các học viên của các ngành khác quan tâm đến lĩnh vực này.

Hà Nội, ngày tháng năm 2013

Tham gia biên soạn

1. Nguyễn Thúy Hiền: Chủ biên
2. Phạm Thúy Hòe
3. Đoàn Năng Trình

## MỤC LỤC

Lời nói đầu.....	3
Bài mở đầu: Cảm biến và ứng dụng.....	6
Bài 1: Cảm biến nhiệt độ.....	12
Bài 2: Cảm biến tiệm cận và một số cảm biến xác định khoảng cách.....	42
Bài 3: phương pháp đo lưu lượng.....	73
Bài 4: Đo vận tốc vòng quay và góc quay.....	104
Tài liệu tham khảo.....	125

## MÔN HỌC: KỸ THUẬT CẢM BIẾN

**Mã môn học: MH 27**

**Vị trí, tính chất, ý nghĩa và vai trò của môn học:**

- Môn học Kỹ thuật cảm biến học sau các môn học, mô đun Kỹ thuật cơ sở, đặc biệt các môn học, mô đun: Mạch điện, Điện tử cơ bản, Đo lường điện và Trang bị điện.

- Là môn học chuyên môn nghề. Kỹ thuật cảm biến ngày càng được sử dụng rộng rãi đặc biệt trong ngành tự động hóa nói chung và tự động hóa công nghiệp nói riêng. Môn học trang bị những kiến thức và kỹ năng để người học hiểu rõ và sử dụng thành thạo các loại cảm biến được ứng dụng trong ngành công nghiệp.

**Mục tiêu của môn học:**

- Phân tích được cấu tạo, nguyên lý hoạt động của các loại cảm biến.
- Phân tích được nguyên lý của mạch điện cảm biến.
- Biết đầu nối các loại cảm biến trong mạch điện cụ thể
- Hình thành tư duy khoa học phát triển năng lực làm việc theo nhóm
- Rèn luyện tính chính xác khoa học và tác phong công nghiệp.

**Nội dung của môn học:**

Số TT	Tên chương, mục	Thời gian (giờ)			
		Tổng số	Lý thuyết	Thực hành Bài tập	Kiểm tra* (LT hoặc TH)
	Bài mở đầu: Cảm biến và ứng dụng 1. Khái niệm cơ bản về các bộ cảm biến. 2. Phạm vi ứng dụng	2	2		
I	Cảm biến nhiệt độ. 1. Đại cương 2. Nhiệt điện trở với Platin và Nickel 3. Cảm biến nhiệt độ với vật liệu silic 4. IC cảm biến nhiệt độ. 5. Nhiệt điện trở NTC. 6. Các bài thực hành ứng dụng các loại cảm biến nhiệt độ.	16	14	2	
II	Cảm biến tiệm cận và các loại cảm biến xác định vị trí, khoảng cách. 1. Cảm biến tiệm cận	10	7	2	1

	(Proximity Sensor 2.Một số loại cảm biến xác định vị trí, khoảng cách khác. 3.Các bài thực hành ứng dụng các loại cảm biến tiệm cận				
III	Cảm biến đo lưu lượng. 1. Đại cương. 2.Phương pháp đo lưu lượng dựa trên nguyên tắc sự chênh lệch áp suất. 3.Phương pháp đo lưu lượng bằng tần số dòng xoáy 4.Các bài thực hành ứng dụng cảm biến đo lưu lượng.	14	10	3	1
IV	Cảm biến đo vận tốc vòng quay và góc quay. 1.Một số phương pháp đo vận tốc vòng quay cơ bản. 2.Cảm biến đo góc với tổ hợp có điện trở từ. 3.Các bài thực hành ứng dụng.	18	12	5	1
	<b>Cộng</b>	<b>60</b>	<b>45</b>	<b>12</b>	<b>3</b>

# BÀI MỞ ĐẦU: CẢM BIẾN VÀ ỨNG DỤNG

## Giới thiệu:

Cảm biến là phần tử có chức năng tiếp thu, cảm nhận tín hiệu đầu vào ở dạng này và đưa ra tín hiệu ở dạng khác. Cảm biến được ứng dụng rất rộng rãi trong mọi lĩnh vực, đặc biệt trong lĩnh vực tự động hóa công nghiệp.

## Mục tiêu:

- Trình bày được khái niệm, đặc điểm, phạm vi ứng dụng của cảm biến.
- Rèn luyện tính cẩn thận, chính xác, logic khoa học, tác phong công nghiệp.

## Nội dung chính:

### 1. Khái niệm cơ bản về các bộ cảm biến

#### Mục tiêu:

- Phát biểu được khái niệm về cảm biến, vị trí của cảm biến trong dây chuyền sản xuất và cách phân loại cảm biến trong thực tế

#### 1.1. Khái niệm

Cảm biến là thiết bị dùng để cảm nhận biến đổi các đại lượng vật lý, các đại lượng không có tính chất điện cần đo thành các đại lượng có tính chất điện có thể đo và xử lý được.

Các đại lượng cần đo (m) thường không có tính chất điện (như nhiệt độ, áp suất, lưu lượng, vận tốc... ) tác động lên cảm biến cho ta một đặc trưng (s) mang tính chất điện (như dòng điện, điện áp, trở kháng ) chứa đựng thông tin cho phép xác định giá trị của đại lượng cần đo. Đặc trưng (s) là hàm của đại lượng cần đo:

$$s = f(m)$$

s: Đại lượng đầu ra hay còn gọi là đáp ứng đầu ra của cảm biến.

m: đại lượng đầu vào hay là kích thích (có nguồn gốc đại lượng cần đo)

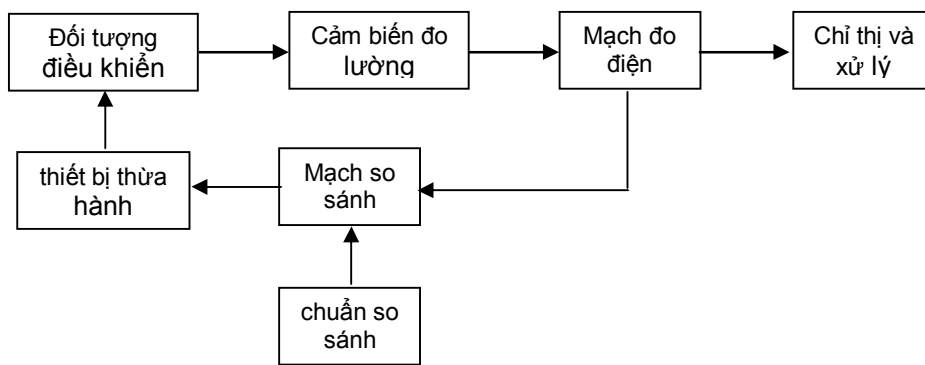
f :là hàm truyền đạt của cảm biến. Hàm truyền đạt thể hiện cấu trúc của thiết bị biến đổi và thường có đặc tính phi tuyến, điều đó làm giới hạn khoảng đo và dẫn tới sai số. Trong trường hợp đại lượng đo biến thiên trong phạm vi rộng cần chia nhỏ khoảng đo để có hàm truyền tuyến tính (Phương pháp tuyến tính hoá từng đoạn). Thông thường khi thiết kế mạch đo người ta thực hiện các mạch hỗ trợ để hiệu chỉnh hàm truyền sao cho hàm truyền đạt chung của hệ thống là tuyến tính.

Giá trị (m) được xác định thông qua việc đo đạc giá trị (s)

Các tên khác của các bộ cảm biến: Sensor, bộ cảm biến đo lường, đầu dò, van đo lường, bộ nhận biết hoặc bộ biến đổi.

Trong hệ thống đo lường và điều khiển, các bộ cảm biến và cảm biến ngoài việc đóng vai trò các “giác quan“ để thu thập tin tức còn có nhiệm vụ là “nhà phiên dịch“ để cảm biến các dạng tín hiệu khác nhau về tín hiệu điện. Sau đó sử dụng các mạch đo lường và xử lý kết quả đo vào các mục đích khác nhau.

**\*Sơ đồ nguyên tắc của một hệ thống đo lường điều khiển**

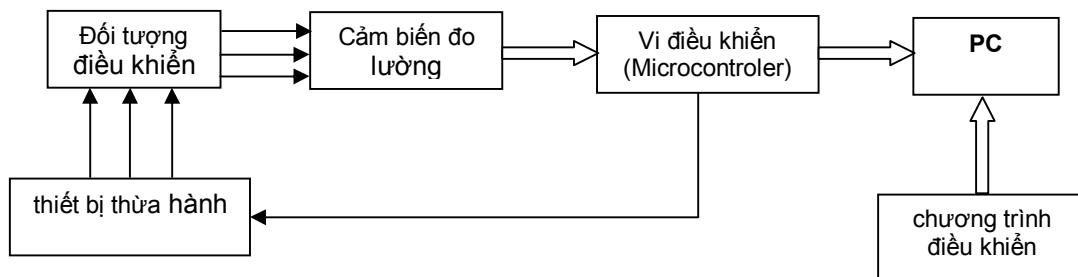


*Hình 1: Sơ đồ nguyên tắc của một hệ thống đo lường điều khiển*

Tham số trạng thái X của đối tượng cần điều khiển được cảm biến sang tín hiệu y nhờ cảm biến đo lường. Tín hiệu lỗi ra được mạch đo điện xử lý để đưa ra cơ cấu chỉ thị.

Trong các hệ thống điều khiển tự động, tín hiệu lỗi ra của mạch đo điện sẽ được đưa trở về lỗi sau khi thực hiện thao tác so sánh với chuẩn một tín hiệu lỗi ra sẽ khởi phát thiết bị thừa hành để điều khiển đối tượng.

\* Trong hệ thống đo lường điều khiển hiện đại, quá trình thu thập và xử lý tín hiệu thường do máy tính đảm nhiệm.



*Hình 2: Hệ thống đo lường và điều khiển ghép PC*

Trong sơ đồ trên đối tượng điều khiển được đặc trưng bằng các biến trạng thái và được các bộ cảm biến thu nhận. Đầu ra của các bộ cảm biến được phối ghép với vi điều khiển qua dao điện. Vi điều khiển có thể oạt động độc lập theo chương trình đã được cài đặt sẵn hoặc phối ghép với máy tính. Đầu ra của bộ vi điều khiển được phối ghép với cơ cấu chấp hành nhằm tác động lên quá trình hay đối tượng điều khiển. Chương trình cho vi điều khiển được cài đặt thông qua máy tính hoặc các bộ nạp chương trình chuyên dụng. Đây là sơ đồ điều khiển tự động quá trình (đối tượng), trong đó bộ cảm biến đóng vai trò phần tử cảm nhận, đo đạc và đánh giá các thông số của hệ thống. Bộ vi điều khiển làm nhiệm vụ xử lý thông tin và đưa ra tín hiệu quá trình.



Từ sen-sor là một từ mượn tiếng la tinh Sensus trong tiếng Đức và tiếng Anh được gọi là sensor, trong tiếng Việt thường gọi là bộ cảm biến. Trong kỹ thuật còn hay gọi thuật ngữ đầu đo hay đầu dò

*Các bộ cảm biến thường được định nghĩa theo nghĩa rộng là thiết bị cảm nhận và đáp ứng các tín hiệu và kích thích.*

## 1.2. Phân loại các bộ cảm biến.

Cảm biến được phân loại theo nhiều tiêu chí. Người ta có thể phân loại cảm biến theo các cách sau:

### 1.2.1. Theo nguyên lý chuyển đổi giữa đáp ứng và kích thích.

Hiện tượng	Chuyển đổi giữa đáp ứng và kích thích
Vật lý	Nhiệt điện. Quang điện Quang từ. Điện từ Từ điện ...vv
Hóa học	Biến đổi hóa học Biến đổi điện hóa Phân tích phổ ...vv
Sinh học	Biến đổi sinh hóa Biến đổi vật lý Hiệu ứng trên cơ thể sống ..vv

### 1.2.2. Theo dạng kích thích.

Kích thích	Các đặc tính của kích thích
Âm thanh	Biên pha, phân cực Phổ Tốc độ truyền sóng ...vv
Điện	Điện tích, dòng điện Điện thế, điện áp Điện trường Điện dẫn, hằng số điện môi ...vv

Từ	Từ trường Từ thông, cường độ từ trường. Độ từ thẩm ...vv
Cơ	Vị trí Lực, áp suất Gia tốc, vận tốc, ứng suất, độ cứng Mô men Khối lượng, tỉ trọng Độ nhớt...vv
Quang	Phổ Tốc độ truyền Hệ số phát xạ, khúc xạ ...VV
Nhiệt	Nhiệt độ Thông lượng Tỷ nhiệt ...vv
Bức xạ	Kiểu Năng lượng Cường độ ...vv

### 1.2.3. Theo tính năng.

- Độ nhạy
- Độ chính xác
- Độ phân giải
- Độ tuyến tính
- Công suất tiêu thụ

### 1.2.4. Theo phạm vi sử dụng

- Công nghiệp
- Nghiên cứu khoa học
- Môi trường, khí tượng
- Thông tin, viễn thông
- Nông nghiệp
- Dân dụng

- Giao thông vận tải...vv

#### 1.2.5. Theo thông số của mô hình mạch điện thay thế

- Cảm biến tích cực (có nguồn): Đầu ra là nguồn áp hoặc nguồn dòng.

- Cảm biến thụ động (không có nguồn): Cảm biến gọi là thụ động khi chúng cần có thêm nguồn năng lượng phụ để hoàn tất nhiệm vụ đo kiểm, còn loại tích cực thì không cần. Được đặc trưng bằng các thông số: R, L, C... tuyến tính hoặc phi tuyến.

### 2. Phạm vi ứng dụng.

Các bộ cảm biến được sử dụng nhiều trong các lĩnh vực kinh tế và kỹ thuật. Các bộ cảm biến đặc biệt và rất nhạy cảm được sử dụng trong các thí nghiệm các lĩnh vực nghiên cứu khoa học. Trong lĩnh vực tự động hoá người ta sử dụng các loại sensor bình thường cũng như đặc biệt.

# CHƯƠNG 1. CẢM BIẾN NHIỆT ĐỘ

## Mã chương: MH27 - 01

### Giới thiệu:

Trong tất cả các đại lượng vật lý, nhiệt độ là một trong các đại lượng được quan tâm nhiều nhất vì nhiệt độ đóng vai trò quyết định đến nhiều tính chất quan trọng của vật chất. Nhiệt độ có thể làm ảnh hưởng đến các đại lượng chịu tác dụng của nó. Một trong những đặc điểm quan trọng của nhiệt độ là làm thay đổi một cách liên tục các đại lượng chịu ảnh hưởng của nó ví dụ như áp suất, thể tích của chất khí, sự thay đổi pha hay điểm Curie của vật liệu từ ...vv. Bởi vậy trong công nghiệp cũng như đời sống hàng ngày phải đo nhiệt độ.

### Mục tiêu:

- Phân biệt được các loại cảm biến nhiệt độ.
- Lắp ráp, điều chỉnh được đặc tính bù của NTC, PTC.
- Rèn luyện tính cẩn thận, chính xác, logic khoa học, tác phong công nghiệp

### Nội dung chính:

#### 1. Đại cương

- Mục tiêu: - *Nắm được các thang đo nhiệt độ và mối quan hệ của chúng*  
- *Phân biệt được các loại cảm biến nhiệt độ*

Dụng cụ đo nhiệt độ đơn giản nhất là nhiệt kế sử dụng hiện tượng giãn nở nhiệt. Để chế tạo các bộ cảm biến nhiệt độ người ta sử dụng nhiều nguyên lý cảm biến khác nhau như:

- Phương pháp quang dựa trên sự phân bố phổ bức xạ nhiệt do dao động nhiệt (hiệu ứng Doppler).
- Phương pháp dựa trên sự giãn nở của vật rắn, chất lỏng hoặc chất khí (với áp suất không đổi) hoặc dựa trên tốc độ âm.
- Phương pháp điện dựa trên sự phụ thuộc của các điện trở vào nhiệt độ.

Để đo được trị số chính xác của nhiệt độ là vấn đề không đơn giản. Đối với đa số các đại lượng vật lý đều có thể xác định một cách định lượng nhờ phép so sánh chúng một đại lượng cùng loại gọi là chuẩn so sánh. Những đại lượng như vậy gọi là đại lượng mở rộng vì chúng có thể được xác định bằng bội số hoặc ước số của đại lượng chuẩn. Ngược lại nhiệt độ là một đại lượng gia tăng, việc nhân hoặc chia nhiệt độ không có ý nghĩa rõ ràng và chỉ có thể đo gián tiếp nhiệt độ trên cơ sở tính chất của vật chất phụ thuộc vào nhiệt độ. Trước khi đo nhiệt độ ta cần đề cập đến thang đo nhiệt độ.

#### 1.1. Thang đo nhiệt độ.

Việc xác định thang nhiệt độ xuất phát từ các định luật nhiệt động học. Thang đo nhiệt độ tuyệt đối được xác định dựa trên tính chất của khí lý tưởng. Định luật Carnot nêu rõ: Hiệu suất  $\delta$  của một động cơ nhiệt thuận nghịch hoạt

động giữa 2 nguồn có nhiệt độ  $\delta_1$  và  $\delta_2$  trong một thang đo bất kỳ chỉ phụ thuộc vào  $\delta_1$  và  $\delta_2$ :

$$\eta = \frac{F(\theta_1)}{F(\theta_2)}$$

Dạng của hàm F chỉ phụ thuộc vào thang đo nhiệt độ. Ngược lại, việc lựa chọn hàm F sẽ quyết định thang đo nhiệt độ. Đặt  $F(\delta) = T$  chúng ta sẽ xác định T như là nhiệt độ nhiệt động học tuyệt đối và hiệu suất của động cơ nhiệt thuận nghịch sẽ được viết như sau:

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

Trong đó:

$T_1$  và  $T_2$  là nhiệt độ nhiệt động học tuyệt đối của hai nguồn.

*1.1.1. Thang Kelvin* Năm 1852 lý Anh, năm 1852 xác định thang nhiệt độ. Thang Kelvin đơn vị là  $^{\circ}\text{K}$ , người ta gán cho nhiệt độ của điểm cân bằng của 3 trạng thái nước – nước đá – hơi một trị số bằng 273,15  $^{\circ}\text{K}$ .

### *1.1.2. Thang Celsius*

Năm 1742 Andreas Celsius là nhà vật lý Thụy Điển đưa ra thang nhiệt độ bách phân. Trong thang này đơn vị đo nhiệt độ là  $^{\circ}\text{C}$ , một độ Celsius bằng một độ Kelvin. Quan hệ giữa nhiệt độ Celsius và nhiệt độ Kelvin được xác định bằng biểu thức:

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(^{\circ}\text{K}) - 273,15$$

### *1.1.3. Thang Fahrenheit*

Năm 1706 Fahrenheit nhà vật lý Hà Lan đưa ra thang nhiệt độ có điểm nước đá tan là  $32^{\circ}$  và sôi ở  $212^{\circ}$ . Đơn vị nhiệt độ là Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ). Quan hệ giữa nhiệt độ Celsius và Fahrenheit được cho theo biểu thức:

$$T(^{\circ}\text{F}) = \frac{9}{5}T(^{\circ}\text{C}) + 32$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = \{T(^{\circ}\text{F}) - 32\} \frac{5}{9}$$

**Bảng 2.1 Thông số đặc trưng của một số thang đo nhiệt độ khác nhau**

Nhiệt độ	Kelvin ( $^{\circ}\text{K}$ )	Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ )	Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ )
Điểm 0 tuyệt đối	0	-273,15	-459,67
Hỗn hợp nước – nước đá	273,15	0	32
Cân bằng nước – nước đá – hơi nước	273,16	0,01	32,018
Nước sôi	373,15	100	212

## **1.2. Nhiệt độ được đo và nhiệt độ cần đo.**

### **1.2.1. Nhiệt độ đo được:**

Nhiệt độ đo được nhờ một điện trở hay một cặp nhiệt, chính bằng nhiệt độ của cảm biến và kí hiệu là TC. Nó phụ thuộc vào nhiệt độ môi trường TX và vào sự trao đổi nhiệt độ trong đó. Nhiệm vụ của người thực nghiệm là làm thế nào để giảm hiệu số TX – TC xuống nhỏ nhất. Có hai biện pháp để giảm sự khác biệt giữa TX và TC:

- Tăng trao đổi nhiệt giữa cảm biến và môi trường đo.
- Giảm trao đổi nhiệt giữa cảm biến và môi trường bên ngoài.

### **1.2.2. Đo nhiệt độ trong lòng vật rắn**

Thông thường cảm biến được trang bị một lớp vỏ bọc bên ngoài. Để đo nhiệt độ của một vật rắn bằng cảm biến nhiệt độ, từ bề mặt của vật người ta khoan một lỗ nhỏ đường kính bằng  $r$  và độ sâu bằng  $L$ . Lỗ này dùng để đưa cảm biến vào sâu trong chất rắn. Để tăng độ chính xác của kết quả phải đảm bảo hai điều kiện:

- Chiều sâu của lỗ khoan phải bằng hoặc lớn hơn gấp 10 lần đường kính của nó ( $L \geq 10r$ ).
- Giảm trở kháng nhiệt giữa vật rắn và cảm biến bằng cách giảm khoảng cách giữa vỏ cảm biến và thành lỗ khoan. khoảng cách giữa vỏ cảm biến và thành lỗ khoan phải được lấp đầy bằng một vật liệu dẫn nhiệt tốt.

## **2. Nhiệt điện trở với Platin và Nickel**

*Mục tiêu: Nắm được cấu tạo, nguyên tắc hoạt động, đặc tính của các loại nhiệt điện trở Platin và Nickel.*

### **2.1. Điện trở kim loại thay đổi theo nhiệt độ**

Sự chuyển động của các hạt mang điện tích theo một hướng hình thành một dòng điện trong kim loại. Sự chuyển động này có thể do một lực cơ học hay điện trường gây nên và điện tích có thể là âm hay dương dịch chuyển với chiều ngược nhau. Độ dẫn điện của kim loại rỗng tỉ lệ nghịch với nhiệt độ hay điện trở của kim loại có hệ số nhiệt độ dương. Trong hình 1.1 ta có các đặc tuyến điện trở của các kim loại theo nhiệt độ. Như thế điện trở kim loại có hệ số nhiệt điện trở dương PTC (Positive Temperature Coefficient): điện trở kim loại tăng khi nhiệt độ tăng. Để hiệu ứng này có thể sử dụng được trong việc đo nhiệt độ, hệ số nhiệt độ cần phải lớn. Điều đó có nghĩa là có sự thay đổi điện trở khá lớn đối với nhiệt độ. Ngoài ra các tính chất của kim loại không được thay đổi nhiều sau một thời gian dài. Hệ số nhiệt độ không phụ thuộc vào nhiệt độ, áp suất và không bị ảnh hưởng bởi các hóa chất. Giữa nhiệt độ và điện trở thường không có sự tuyến tính, nó được diễn tả bởi một biểu thức đa cấp cao:

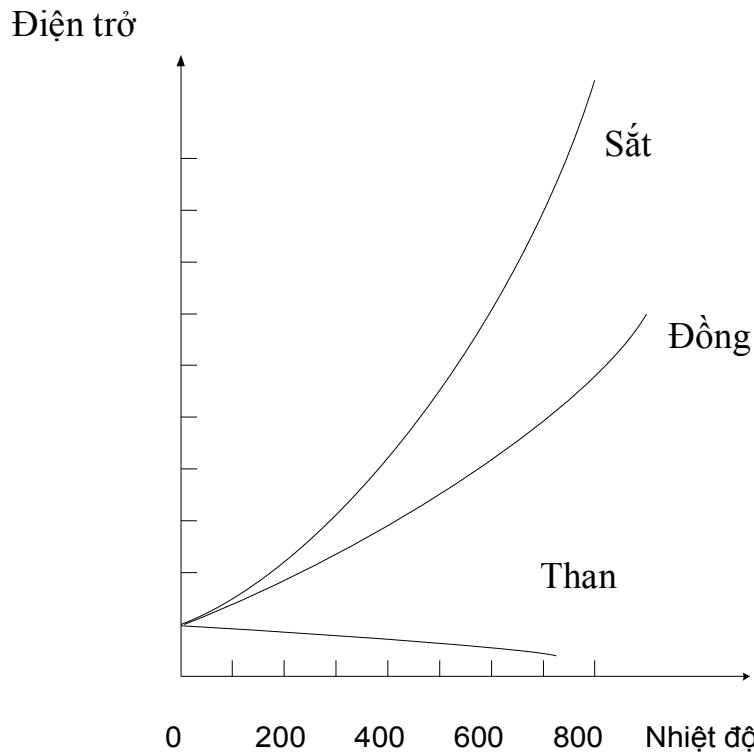
$$R(t) = R_0 (1 + A.t + B.t^2 + C.t^3 + \dots)$$

- $R_0$ : điện trở được xác định ở một nhiệt độ nhất định.

- $t^2$ ,  $t^3$ : các phần tử được chú ý nhiều hay ít tùy theo yêu cầu chính xác của phép đo.
- A, B, C: các hệ số tùy theo vật liệu kim loại và diễn tả sự liên hệ giữa nhiệt độ và điện trở một cách rõ ràng.

Thông thường đặc tính của nhiệt điện trở được thể hiện bởi chỉ một hệ số  $\alpha$  (alpha), nó thay thế cho hệ số nhiệt độ trung bình trong thang đo (ví dụ từ  $0^\circ\text{C}$  đến  $100^\circ\text{C}$ .)

$$\alpha = (R_{100} - R_0) / 100 \cdot R_0 \text{ (}^\circ\text{C}^{-1}\text{)}$$



Hình 1.1: Các đặc tuyến điện trở của các kim loại theo nhiệt độ.

## 2.2. Nhiệt điện trở Platin:Pt

(Pt có màu trắng, xám tro, sáng chói không mất đi khi ngâm trong nước hay ở trong không khí. Nó rất dễ dát mỏng hay vuốt giãn. Người ta có thể rèn, dát mỏng và kéo khi nguội (cho đến đường kính 2mm). Các loại dây có đường kính bé đến 0,015mm người ta dùng khuôn kéo cữ bằng kim cương. Đường kính nhỏ hơn nữa đến 0,001mm được chế tạo bằng cách bọc các sợi mảnh Platin trong lớp bạc hoặc đồng và tiếp tục kéo các sợi này mảnh hơn. Vỏ bọc bằng bạc hay bằng đồng sẽ được hoà tan trong dung dịch Axit Iritiric.)

Các điện trở Pt hoạt động tốt trong dải nhiệt độ khá rộng  $T = -200^\circ\text{C}$  đến  $1000^\circ\text{C}$  nếu như vỏ bảo vệ của nó cho phép.

Platin là vật liệu cho nhiệt điện trở được dùng rộng rãi trong công nghiệp. Có 2 tiêu chuẩn đối với nhiệt điện trở platin, sự khác nhau giữa chúng nằm ở mức độ tinh khiết của vật liệu. Hầu hết các quốc gia sử dụng

tiêu chuẩn quốc tế DIN IEC751-1983 (được sửa đổi lần thứ nhất vào năm 1986, lần thứ 2 vào năm 1995), USA vẫn tiếp tục sử dụng tiêu chuẩn riêng.

Ở cả 2 tiêu chuẩn đều sử dụng phương trình Callendar - Van Dusen:

$$R(t) = R_0 (1 + A.t + B.t^2 + C[t - 100^{\circ}\text{C}].t^3)$$

$R_0$  là trị số điện trở định mức ở  $0^{\circ}\text{C}$ .

Standard	Alpha ohms/ohm/ $^{\circ}\text{C}$	$R_0$ ohms	Hệ số	Đất nước
IEC751 (Pt100)	0.00385055	100	$200^{\circ}\text{C} < t < 0^{\circ}\text{C}$ $A = 3.90830 \times 10^{-3}$ $B = -5.77500 \times 10^{-7}$ $C = -4.18301 \times 10^{-12}$ $0^{\circ}\text{C} < t < 850^{\circ}\text{C}$ A & B như trên, riêng $C = 0.0$	Úc, Áo, Bỉ, Brazil, Bulgaria, Canada, Cộng hòa Czech, Đan mạch, Ai Cập, Phần Lan, Pháp, Đức, Israel, Ý, Nhật, Ba Lan, Rumania, Nam phi, Thổ Nhĩ Kỳ, Nga, Anh, USA
SAMA RC-4	0.0039200	98.129	$A = 3.97869 \times 10^{-3}$ $B = -5.86863 \times 10^{-7}$ $C = -4.16696 \times 10^{-12}$	USA

$R_0$  của nhiệt điện trở Pt 100 là  $100\Omega$ , của Pt 500 là  $500\Omega$ , của Pt 1000 là  $1000\Omega$ . Các loại Pt 500, Pt 1000 có hệ số nhiệt độ lớn hơn, do đó độ nhạy lớn hơn: điện trở thay đổi mạnh hơn theo nhiệt độ. ngoài ra còn có loại Pt 10 có độ nhạy kém dùng để đo nhiệt độ trên  $600^{\circ}\text{C}$

Tiêu chuẩn IEC751 chỉ định nghĩa 2 “đẳng cấp” dung sai A, B. Trên thực tế xuất hiện thêm loại C và D (xem bảng phía dưới). Các tiêu chuẩn này cũng áp dụng cho các loại nhiệt điện trở khác.

Đẳng cấp dung sai	Dung sai ( $^{\circ}\text{C}$ )
A	$t = \pm (0.15 + 0.002 \cdot  t )$
B	$t = \pm (0.30 + 0.005 \cdot  t )$
C	$t = \pm (0.40 + 0.009 \cdot  t )$
D	$t = \pm (0.60 + 0.0018 \cdot  t )$

Theo tiêu chuẩn DIN vật liệu platin dùng làm nhiệt điện trở có pha tạp. Do đó khi bị các tạp chất khác thẩm thấu trong quá trình sử dụng sự thay đổi trị số điện của nó ít hơn so với các platin ròng. Nhờ thế có sự ổn định lâu dài theo thời gian, thích hợp hơn trong công nghiệp. Trong công nghiệp nhiệt điện trở platin thường dùng có đường kính  $30\mu\text{m}$  (so sánh với đường kính sợi tóc khoảng  $100\mu\text{m}$ ).



### 2.3. Nhiệt điện trở nickel (Kền): Ni

(Ni có màu trắng - xám tro, rực sáng và nó được bảo vệ trong không khí ẩm, nó không bị ôxi hoá ở trong không khí và trong nước ở nhiệt độ thông thường. Nó bị ôxi hoá ở nhiệt độ 500°C. Niken là kim loại bền, song dễ dát mỏng và dễ vuốt giũa ở nhiệt độ nóng và khi nguội. Khi tiếp xúc với nhiều kim loại khác nhau, nó cho sức nhiệt điện động tương đối lớn để có thể dùng làm nhiệt ngẫu.)

Nhiệt điện trở nickel so với platin rẻ tiền hơn và có hệ số nhiệt độ lớn gần gấp hai lần ( $6,18 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ). Tuy nhiên dải đo chỉ từ  $-60^\circ\text{C}$  đến  $+250^\circ\text{C}$ , vì trên  $350^\circ\text{C}$  nickel có sự thay đổi về pha. Cảm biến nickel 100 thường dùng trong công nghiệp điều hòa nhiệt độ phòng.

$$R(t) = R_0 (1 + A.t + B.t^2 + D.t^4 + F.t^6)$$

$$A = 5.485 \times 10^{-3} \quad B = 6.650 \times 10^{-6} \quad D = 2.805 \times 10^{-11} \quad F = -2.000 \times 10^{-17}$$

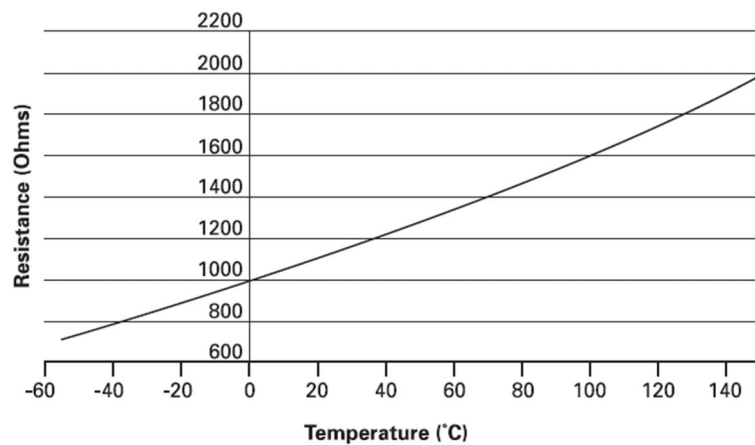
Với các trường hợp không đòi hỏi sự chính xác cao ta sử dụng phương trình sau:

$$R(t) = R_0 (1 + \alpha.t)$$

$$\alpha = 0.00672 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Từ đó dễ dàng chuyển đổi thành giá trị nhiệt độ:

$$t = (R_t / R_0 - 1) / \alpha = (R_t / R_0 - 1) / 0.00672$$



Hình 1.2: Đường đặc tính cảm biến nhiệt độ ZNI1000

Cảm biến nhiệt độ ZNI1000 do hãng ZETEX Semiconductors sản xuất sử dụng nhiệt điện trở Ni, được thiết kế có giá trị  $1000 \Omega$  tại  $0^\circ\text{C}$ .

### 2.4. Cách nối dây đo

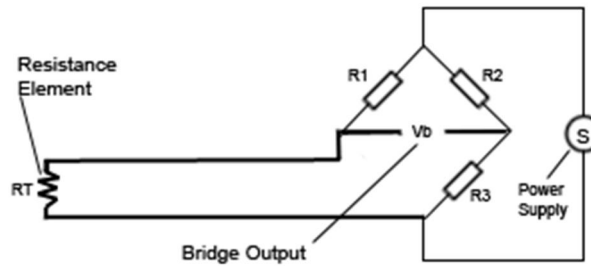
Nhiệt điện trở thay đổi điện trở theo nhiệt độ. Với một dòng điện không thay đổi qua nhiệt điện trở, ta có điện thế đo được  $U = R.I$ . Để cảm biến không bị nóng lên qua phép đo, dòng điện cần phải nhỏ khoảng 1mA. Với Pt 100 ở  $0^\circ\text{C}$  ta có điện thế khoảng 0,1V. Điện thế này cần được đưa đến máy đo qua dây đo. Ta có 4 kỹ thuật nối dây đo.



Hình 1.3 Cách nối dây nhiệt điện trở

Tiêu chuẩn IEC 751 yêu cầu dây nối đến cùng đầu nhiệt điện trở phải có màu giống nhau (đỏ hoặc trắng) và dây nối đến 2 đầu phải khác màu.

*a.. Kỹ thuật hai dây*



Hình 1.4

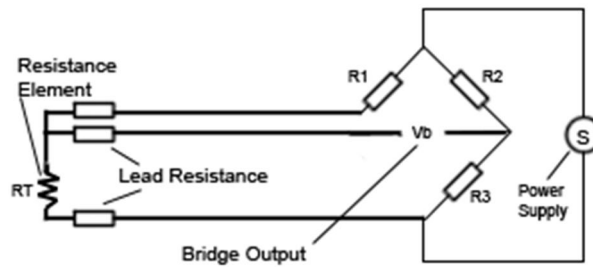
Giữa nhiệt điện trở và mạch điện tử được nối bởi hai dây. Bất cứ dây dẫn điện nào đều có điện trở, điện trở này nối nối tiếp với nhiệt điện trở. Với hai điện trở của hai dây đo, mạch điện trở sẽ nhận được một điện thế cao hơn điện thế cần đo. Kết quả ta có chỉ thị nhiệt kế cao hơn nhiệt độ cần đo. Nếu khoảng cách quá xa, điện trở dây đo có thể lên đến vài Ohm

Ví dụ với dây đồng:

Diện tích mặt cắt dây đo:	0,5mm <sup>2</sup>
Điện trở suất:	0,0017 Ωmm <sup>2</sup> m <sup>-1</sup>
Chiều dài:	100m

$R = 6,8 \Omega$ , với  $6,8 \Omega$ , tương ứng cho nhiệt điện trở Pt 100 một thay đổi nhiệt độ là  $17^{\circ}\text{C}$ . Để tránh sai số của phép đo do điện trở của dây đo gây ra, người ta bù trừ điện trở của dây đo bằng một mạch điện như sau: Một biến trở bù trừ được nối vào một trong hai dây đo và nhiệt điện trở được thay thế bằng một điện trở  $100 \Omega$ ,. Mạch điện tử được thiết kế với điện trở dự phòng của dây đo là  $10 \Omega$  Ta chỉnh biến trở sao cho có chỉ thị  $0^{\circ}\text{C}$ : Biến trở và điện trở của dây đo là  $10 \Omega$ .

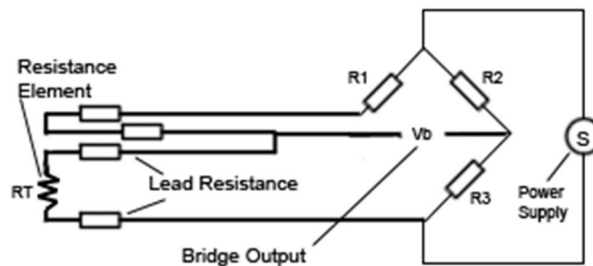
*b.. Kỹ thuật 3 dây:*



Hình 1.5

Từ nhiệt điện trở của dây đo được nối thêm (h1.2b). Với cách nối dây này ta có hai mạch đo được hình thành, một trong hai mạch được dùng làm mạch chuẩn. Với kỹ thuật 3 dây, sai số cho phép đo do điện trở dây đo và sự thay đổi của nó do nhiệt độ không còn nữa. Tuy nhiên 3 dây đo cần có cùng trị số kỹ thuật và có cùng một nhiệt độ. Kỹ thuật 3 dây rất phổ biến.

c.. Kỹ thuật 4 dây.



Hình 1.6

Với kỹ thuật 4 dây người ta đạt kết quả đo tốt nhất. Hai dây được dùng để cho một dòng điện không đổi qua nhiệt điện trở. Hai dây khác được dùng làm dây đo điện thế trên nhiệt điện trở. Trường hợp tổng trở ngõ vào của mạch đo rất lớn so với điện trở dây đo, điện trở dây đo đó coi như không đáng kể. Điện thế đo được không bị ảnh hưởng bởi điện trở dây đo và sự thay đổi của nó do nhiệt.

d. Kỹ thuật 2 dây với bộ biến đổi tín hiệu đo.

Người ta vẫn có thể dùng hai dây đo mà không bị sai số cho phép đo với bộ biến đổi tín hiệu đo. Bộ biến đổi tín hiệu đo biến đổi tín hiệu của cảm biến thành một dòng điện chuẩn, tuyến tính so với nhiệt độ có cường độ từ 4mA đến 20mA. Dòng điện nuôi cho bộ biến đổi được tải qua hai dây đo với cường độ khoảng 4mA. Với kỹ thuật này tín hiệu được khuếch đại trước khi truyền tải do đó không bị nhiễu nhiều.

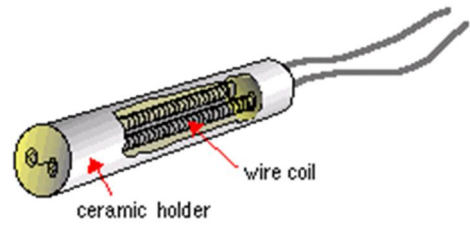
## 2.5. Các cấu trúc của cảm biến nhiệt platin và nickel

- Nhiệt điện trở với kỹ thuật dây quấn.

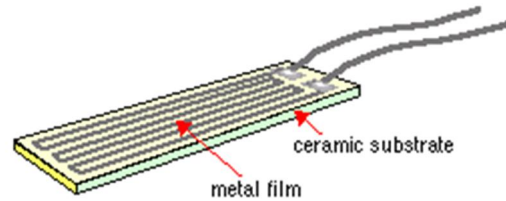
Nhiệt điện trở với vỏ gốm: Sợi platin được giữ chặt trong ống gốm sứ với bột oxit nhôm. Dải đo từ  $-200^{\circ}\text{C}$  đến  $800^{\circ}\text{C}$ .

Nhiệt điện trở với vỏ thủy tinh: loại này có độ bền cơ học và độ nhạy cao. Dải đo từ  $-200^{\circ}\text{C}$  đến  $400^{\circ}\text{C}$ , được dùng trong môi trường hóa chất có độ ăn mòn hóa học cao.

Nhiệt điện trở với vỏ nhựa: Giữa 2 lớp nhựa polyamid dây platin có đường kính khoảng 30 $\mu\text{m}$  được dán kín. Với cấu trúc mỏng, cảm biến này được dùng để đo nhiệt độ bề mặt các ống hay cuộn dây biến thế. Dải đo từ  $-80^{\circ}\text{C}$  đến  $230^{\circ}\text{C}$ .



Hình 1.7: Cấu trúc nhiệt điện trở kim loại dây quấn (vỏ ceramic)



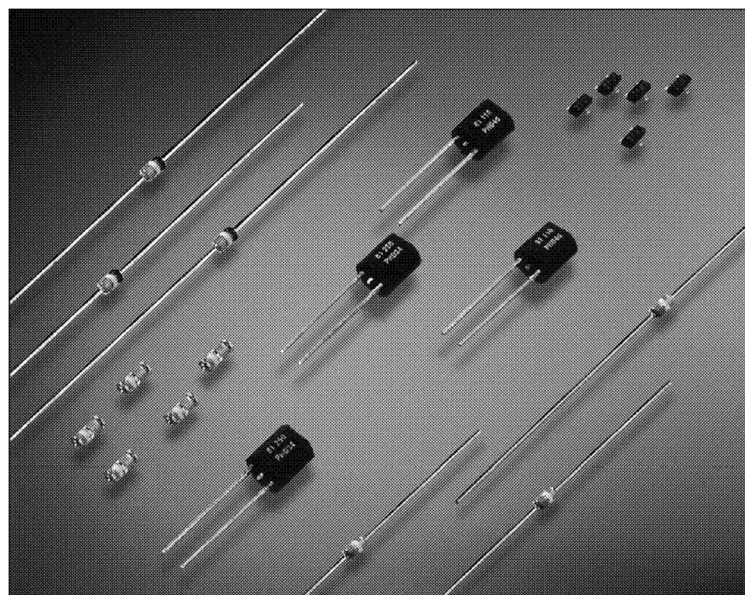
Hình 1.8: Cấu trúc nhiệt điện trở kim loại dạng màng mỏng (vỏ ceramic)

- Nhiệt điện trở với kỹ thuật màng mỏng

Cấu trúc cảm biến gồm một lớp màng mỏng (platin) đặt trên nền ceramic hoặc thủy tinh. Tia laser được sử dụng để chuẩn hóa giá trị điện trở của nhiệt điện trở.

### 3. Cảm biến nhiệt độ với vật liệu silic

*Mục tiêu: Hiểu được nguyên tắc của cảm biến nhiệt độ với vật liệu silic và đặc tính của dòng sản phẩm KTY*

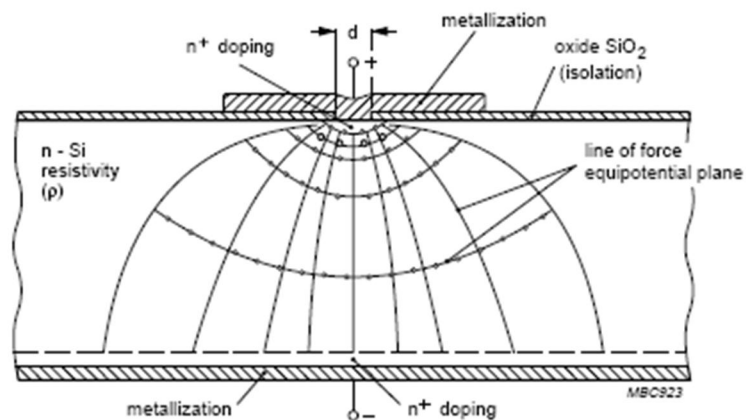


Hình 1.9: Một số loại cảm biến thực tế

Cảm biến nhiệt độ với vật liệu silic đang ngày càng đóng vai trò quan trọng trong các hệ thống điện tử. Với cảm biến silic, bên cạnh đặc điểm tuyến tính, sự chính xác, phí tổn thấp, và có thể được tích hợp trong 1 IC cùng với bộ phận khuếch đại và các yêu cầu xử lý tín hiệu khác. Hệ thống trở nên nhỏ gọn hơn, mức độ phức tạp cao hơn và chạy nhanh hơn. Kỹ thuật cảm biến truyền thống như cặp nhiệt điện, nhiệt điện trở có đặc tuyến không tuyến tính và yêu cầu sự điều chỉnh để có thể chuyển đổi chính xác từ giá trị nhiệt độ sang đại lượng điện ( dòng hoặc áp), đang được thay thế dần bởi các cảm biến với lợi điểm là sự nhỏ gọn của mạch điện tích hợp và dễ sử dụng

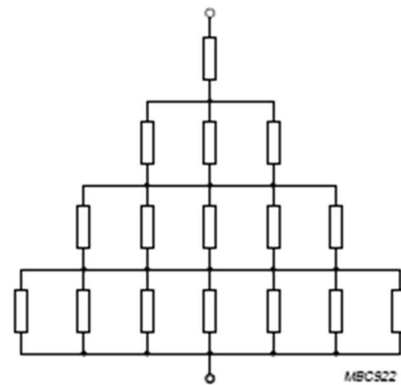
### 3.1. Nguyên tắc

Hình 1.10 thể hiện cấu trúc cơ bản của một cảm biến. kích thước của cảm biến là 500 x 500 x 200  $\mu\text{m}$ . Mặt trên của cảm biến là một lớp  $\text{SiO}_2$  có một vùng hình tròn được mạ kim loại có đường kính khoảng 20 $\mu\text{m}$ , toàn bộ mặt đáy được mạ kim loại.



Hình 1.10

Hình 1.11 biểu diễn mạch điện tương đương tượng trưng thay thế cho cảm biến silic (sản xuất theo nguyên tắc điện trở phân rải (spreading resistance)). Sự sắp xếp này dẫn đến sự phân bố dòng qua tinh thể có dạng hình nón, đây là nguồn gốc của tên gọi điện trở phân rải (spreading resistance).



Hình 1.11

Điện trở cảm biến nhiệt  $R$  được xác định như sau:

$$R = \rho / \pi.d$$

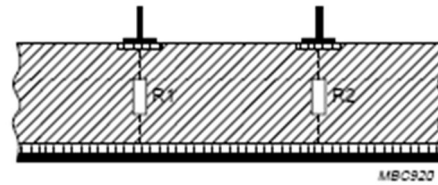
$R$ : điện trở cảm biến nhiệt.

$\rho$ : điện trở suất của vật liệu silic ( $\rho$  lệ thuộc vào nhiệt độ).

$d$ : đường kính của hình tròn vùng mạ kim loại mặt trên.

Hình 1.15 thể hiện loại kết cấu thứ hai của cảm biến. Lợi điểm của kiểu kết cấu này là điện trở cảm biến không phụ thuộc vào chiều dòng điện. Trái lại kiểu kết cấu thứ nhất, dành cho dòng điện lớn hơn và nhiệt độ trên  $100^{\circ}\text{C}$ , sự thay đổi điện trở của cảm biến nhỏ.

Cảm biến nhiệt silic với nguyên tắc điện trở phân rã có hệ số nhiệt độ dương như trường hợp cảm biến nhiệt với vật liệu platin hay nickel.



Hình 1.12: Kết cấu gồm hai cảm biến mắc nối tiếp nhưng ngược cực tính.

### 3.2. Đặc trưng kỹ thuật cơ bản của dòng cảm biến KTY (hãng Philips sản xuất)

Với sự chính xác và ổn định lâu dài của cảm biến với vật liệu silic KTY sử dụng công nghệ điện trở phân rã là một sự thay thế tốt cho các loại cảm biến nhiệt độ truyền thống.

#### 3.2.1. Các ưu điểm chính

- **Sự ổn định:**

Giả thiết cảm biến làm việc ở nhiệt độ có giá trị bằng một nửa giá trị nhiệt độ hoạt động cực đại, sau thời gian làm việc ít nhất là 450000 h (khoảng 51 năm), hoặc sau 1000 h (1,14 năm) hoạt động liên tục với dòng định mức tại giá trị nhiệt độ hoạt động cực đại cảm biến silic sẽ cho kết quả đo với sai số như bảng 1.

**Bảng 1:** Sai số của cảm biến silic (do thời gian sử dụng)

TYPE	Sai số tiêu biểu (K)	Sai số lớn nhất (K)
KTY81-1 KTY82-1	0.20	0.50
KTY81-2 KTY82-2	0.20	0.80
KTY83	0.15	0.40

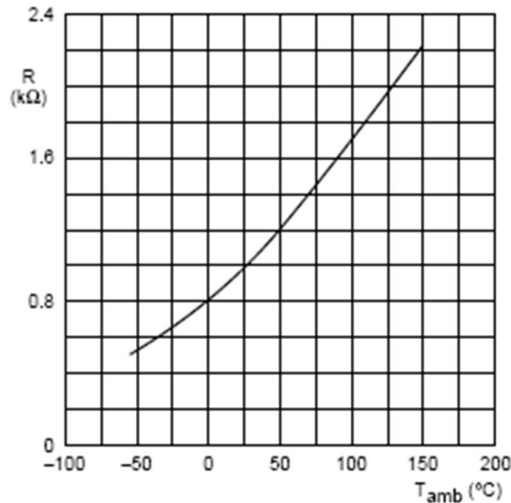
- **Sử dụng công nghệ silic:**

Do cảm biến được sản xuất dựa trên nền tảng công nghệ silic nên gián tiếp chúng ta sẽ hưởng được lợi ích từ những tiến bộ trong lãnh vực công nghệ này, đồng thời điều này cũng gián tiếp mang lại những ảnh hưởng ích cực cho công nghệ “đóng gói”, nơi mà luôn có khuynh hướng thu nhỏ.

- **Sự tuyến tính**

Cảm biến với vật liệu silic có hệ số gần như là hằng số trên toàn bộ thang đo. Đặc tính này là một điều lý tưởng để khai thác, sử dụng (xem hình đặc trưng kỹ thuật của KTY81).

Nhiệt độ hoạt động của các cảm biến silic thông thường bị giới hạn ở 150 °C. KTY 84 với vỏ bọc SOD68 và công nghệ nối đặc biệt giữa dây dẫn và chip có thể hoạt động đến nhiệt độ 300 °C.



Hình 1.13: Đặc trưng kỹ thuật của KTY81

### 3.2.2 Đặc điểm của sản phẩm

Đối với loại KTY 83, ta có phương trình toán học biểu diễn mối quan hệ giữa điện trở và nhiệt độ như sau:

$$R_T = R_{ref}[1 + A(T - T_{ref}) + B(T - T_{ref})^2]$$

$R_T$  là điện trở tại nhiệt độ  $T$

$R_{ref}$  là điện trở tại  $T_{ref}$  (100°C với loại KTY 84, 25°C với các loại cảm biến còn lại)

$A, B$  là các hệ số.

Tên sản phẩm	R25(Ω)	ΔR	Thang đo(°C)	Dạng IC
KTY81-1	1000	±1% tới ±5%	-55 tới 150	SOD70
KTY81-2	2 000	±1% tới ±5%	-55 tới 150	SOD70
KTY82-1	1000	±1% tới ±5%	-55 tới 150	SOT23
KTY82-2	2000	±1% tới ±5%	-55 tới 150	SOT23
KTY83-1	1000	±1% tới ±5%	-55 tới 175	SOD68 (DO-34)
KTY84-1	1000 (R100)	±3% tới ±5%	-40 tới 300	SOD68 (DO-34)

Với KTY 81/82/84:

$$R_T = R_{ref}[1 + A(T - T_{ref}) + B(T - T_{ref})^2 - C(T - T_1)^D]$$

$T_1$  là nhiệt độ mà độ dốc của đường cong bắt đầu giảm.

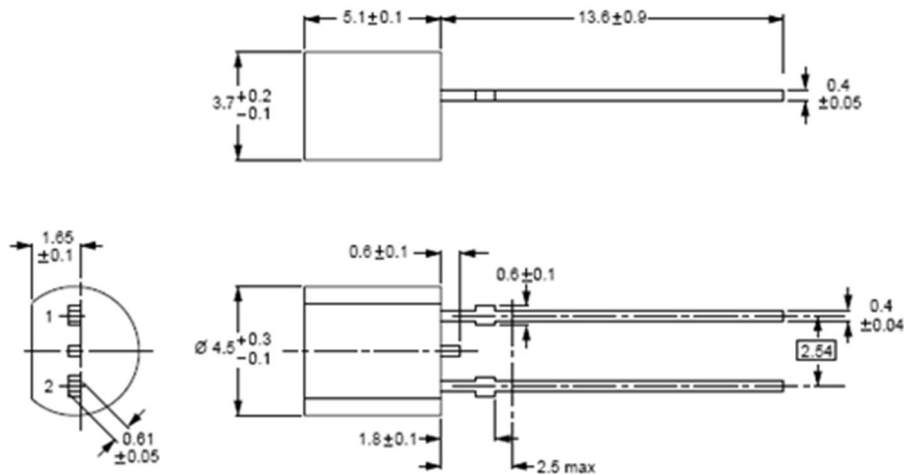
Nếu  $T < T_1$  thì hệ số  $C = 0$

$C, D$  là các hệ số.

Loại cảm biến	A (K <sup>-1</sup> )	B (K <sup>-2</sup> )	C(1) (K <sup>-D</sup> )	D	T <sub>1</sub> (°C)
KTY81-1	$7.874 \times 10^{-3}$	$1.874 \times 10^{-5}$	$3.42 \times 10^{-8}$	3.7	100
KTY81-2	$7.874 \times 10^{-3}$	$1.874 \times 10^{-5}$	$1.096 \times 10^{-6}$	3.0	100
KTY82-1	$7.874 \times 10^{-3}$	$1.874 \times 10^{-5}$	$3.42 \times 10^{-8}$	3.7	100
KTY82-2	$7.874 \times 10^{-3}$	$1.874 \times 10^{-5}$	$1.096 \times 10^{-6}$	3.0	100
KTY83	$7.635 \times 10^{-3}$	$1.731 \times 10^{-5}$	—	—	—
KTY84	$6.12 \times 10^{-3}$	$1.1 \times 10^{-5}$	$3.14 \times 10^{-8}$	3.6	250

**Chú ý:** Với loại cảm biến KTY 83/84 khi lắp đặt cần chú ý đến cực tính, đầu có vạch màu (xem hình phí dưới) cần nối vào cực âm (do chúng có kiểu kết cấu thứ 1 như hình 1.13). KTY 81/82 sử dụng kiểu kết cấu thứ 2 (hình 1.15) nên không cần quan tâm đến cực tính.

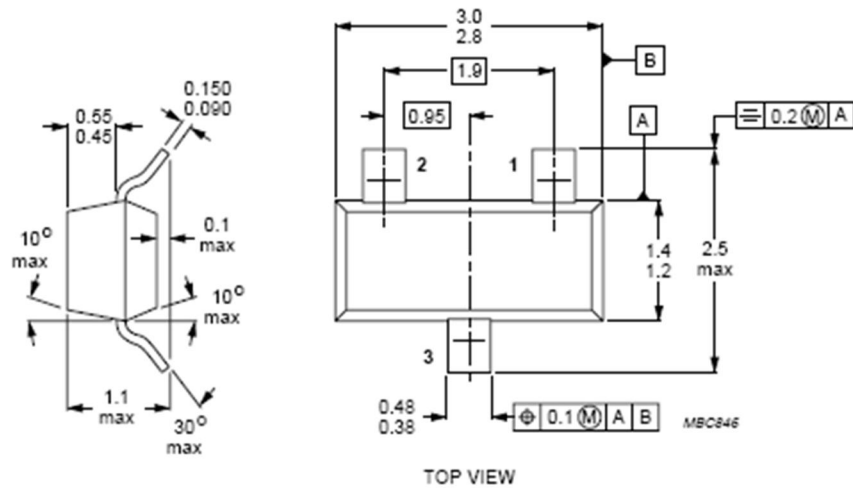
### 3.2.3. Hình ảnh thực tế các loại cảm biến



Outline of the KTY81 (SOD70).

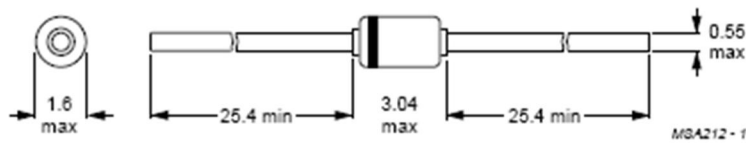
Hình 1.14





Outline of the KTY82 (SOT23)

Hình 1.15



The marking band indicates the negative connector.

Outline of the KTY83/84 (SOD68; DO34).

Hình 1.16

#### 4. IC cảm biến nhiệt độ.

*Mục tiêu: Có khái niệm cơ bản về IC cảm biến nhiệt độ*

Nhiều công ty trên thế giới đã chế tạo IC bán dẫn để đo và hiệu chỉnh nhiệt độ. IC cảm biến nhiệt độ là mạch tích hợp nhận tín hiệu nhiệt độ chuyển thành tín hiệu dưới dạng điện áp hoặc tín hiệu dòng điện. Dựa vào các đặc tính rất nhạy cảm của các bán dẫn với nhiệt độ, tạo ra điện áp hoặc dòng điện tỷ lệ thuận với nhiệt độ tuyệt đối C, F, K hay tùy loại. Đo tín hiệu điện ta biết được nhiệt độ cần đo. Tầm đo nhiệt độ giới hạn từ  $-55^{\circ}\text{C}$  đến  $150^{\circ}\text{C}$ , độ chính xác từ  $1^{\circ}\text{C}$  đến  $2^{\circ}\text{C}$  tùy theo từng loại.

Sự tích cực của nhiệt độ sẽ tạo ra điện tích tự do và các lỗ trống trong chất bán dẫn bằng sự phá vỡ các phân tử, bứt các electron thành dạng tự do di chuyển qua các vùng cấu trúc mạng tinh thể, tạo sự xuất hiện các lỗ trống nhiệt làm cho tỉ lệ điện tử tự do và các lỗ trống tăng lên theo qui luật hàm số mũ với nhiệt độ. Kết quả của hiện tượng này là dưới mức điện áp thuận, dòng thuận của mỗi nối p – n trong diode hay transistor sẽ tăng theo hàm số mũ theo nhiệt độ.

Trong mạch tổ hợp, cảm biến nhiệt thường là điện áp của lớp chuyển tiếp pn trong một transistor loại bipolar. Texinstruments có STP 35 A/B/C; National Semiconductor LM 35/4.5/50...

#### 4.1. Cảm biến nhiệt độ LM 35/ 34 của National Semiconductor

Hầu hết các cảm biến nhiệt độ phổ biến đều khó sử dụng. Chẳng hạn cặp nhiệt ngẫu nhiên có mức ngõ ra thấp và yêu cầu bù nhiệt, thermistor thì không tuyến tính. Thêm vào đó ngõ ra của các loại cảm biến này không tuyến tính tương ứng với bất kỳ thang chia nhiệt độ nào. Các khối cảm biến tích hợp được chế tạo khắc phục được những nhược điểm đó. Nhưng ngõ ra của chúng quan hệ với thang chia độ Kelvin hơn là độ Celsius và Fahrenheit.

##### 4.1.1. Loại LM35: Precision Centigrade Temperature Sensor.

Với loại LM35 ta có điện áp ngõ ra tỉ lệ trực tiếp với thang nhiệt độ Celsius (thang bách phân). Như thế một mạch điện bù trừ điểm zero của thang Kelvin (thang nhiệt độ tuyệt đối) không còn cần thiết như một số IC cảm biến nhiệt khác.

Đặc điểm:

Điện áp hoạt động:  $V_S = 4V$  tới  $30V$

Điện áp ngõ ra tuyến tính:  $10mV/^{\circ}C$

Thang đo:  $-55^{\circ}C$  đến  $150^{\circ}C$  với LM 35/35A,

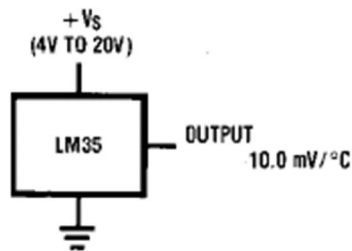
$-40^{\circ}C$  đến  $110^{\circ}C$  với LM 35C/35CA

$0^{\circ}C$  đến  $100^{\circ}C$  với LM 35D

Sự tự nung nóng rất nhỏ:  $0,08^{\circ}C$  (trong môi trường không khí)

Mức độ không tuyến tính chỉ  $\pm 1/4^{\circ}C$

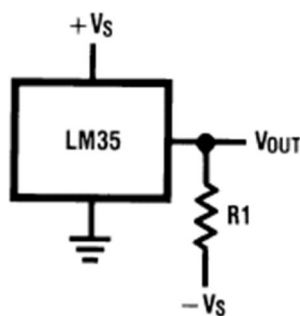
##### Cách kết nối



Hình 1.17

Thang đo:  $+2^{\circ}C$  đến  $150^{\circ}C$

$V_S = 4V$  tới  $30V$



Hình 1.18

Thang đo:  $-55^{\circ}C$  đến  $150^{\circ}C$

$R1 = V_S / 50 \mu A$

$V_S = 4V$  tới  $30V$

$V_{OUT} = 1500 mV$  tại  $+150^{\circ}C$

$= +250 mV$  tại  $+25^{\circ}C$

$= -550 mV$  tại  $-55^{\circ}C$

##### 4.1.2. Loại LM 34

LM 34 giống như LM 35 nhưng được thiết kế cho thang đo Fahrenheit từ -50 đến +300 °F, độ chính xác  $\pm 0,4^{\circ}\text{F}$ .

LM 34 có ngõ ra 10mV/°F.

Điện áp hoạt động: 5 tới 20 V DC.

Trở kháng ngõ ra LM34 thấp và đặc điểm ngõ ra tuyến tính làm cho giá trị đọc ra hay điều khiển mạch điện dễ dàng.

#### 4.2. Cảm biến nhiệt độ AD 590 của Analog Devices

Cảm biến AD 590 (Analog Devices) được thiết kế làm cảm biến nhiệt có tổng trở ngõ ra khá lớn (10 MΩ). Vì mạch đã được cân bằng bởi nhà sản xuất, khiến cho dòng mA ra tương ứng với chuẩn nhiệt độ tuyệt đối K. Điện áp làm việc càng nhỏ càng tốt để tránh hiện tượng tự gia nhiệt. Khi cấp điện áp thay đổi, dòng điện thay đổi rất ít.

Thang đo: -55°C tới 150°C

Điện áp hoạt động: 4 tới 30 VDC

Dòng điện ra tỉ lệ:  $1 \mu\text{A}/^{\circ}\text{K}$

### 5. Nhiệt điện trở NTC

*Mục tiêu: Nắm được cấu tạo, đặc tính và ứng dụng của cảm biến nhiệt NTC*

NTC (Negative Temperature Coefficient) là nhiệt điện trở bán dẫn có hệ số nhiệt điện trở âm: giá trị điện trở giảm khi nhiệt độ tăng.

NTC giảm từ 3 đến 5, 5 % / 1 độ.

#### 5.1. Cấu tạo

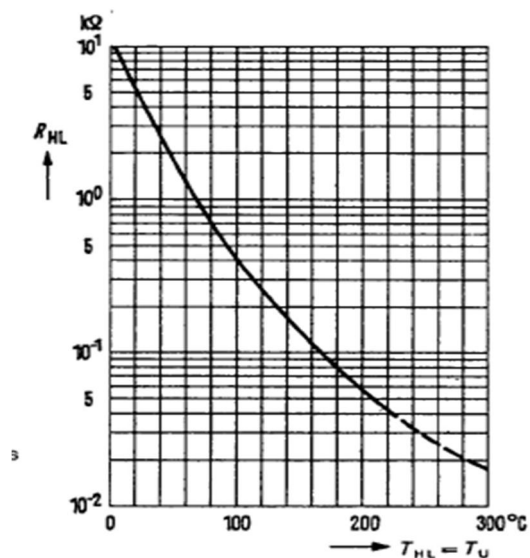
NTC là hỗn hợp đa tinh thể của nhiều oxit gốm đã được nung chảy ở nhiệt độ cao (1000°C ÷ 1400°C) như  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Zn}_2\text{TiO}_4$ ,  $\text{MgCr}_2\text{O}_4$ ,  $\text{TiO}_2$  hay NiO và CO với  $\text{Li}_2\text{O}$ . Để có các NTC có những đặc trưng kỹ thuật ổn định với thời gian dài, nó còn được xử lý với những phương pháp đặc biệt sau khi chế tạo.

#### 5.2. Đặc tính cảm biến nhiệt NTC

##### 5.2.1. Đường đặc tính nhiệt độ - điện trở của NTC mã số A34-2/30:

$R_{\text{NTC}} \approx 5,5 \text{ kW}$  ở nhiệt độ môi trường 20 °C.

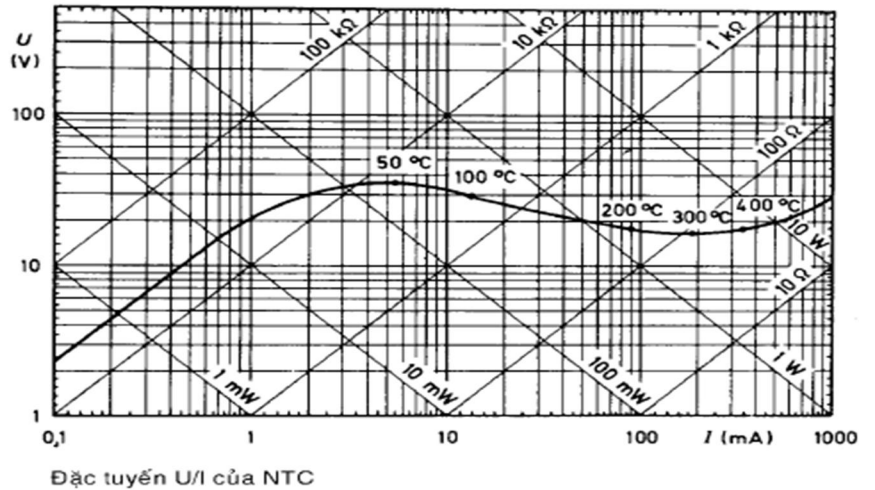
$R_{\text{NTC}} \approx 400 \text{ W}$  ở nhiệt độ môi trường 100 °C.



Hình 1.19

### 5.2.2. Đặc tính dòng/áp của NTC

Đặc tính dòng/áp của NTC cung cấp nhiều thông tin hơn cả đặc tính điện trở nhiệt độ. Đặc tính này cũng dùng được, cả trong trường hợp dòng qua NTC làm nhiệt độ của nó cao hơn nhiệt độ môi trường



Hình 1.20

Đặc tuyến này cũng được gọi là đặc tuyến tĩnh của NTC, điện áp rơi trên NTC chỉ được ghi nhận khi đạt được trạng thái cân bằng giữa điện năng cung cấp và nguồn nhiệt (thường lấy ở môi trường nhiệt độ 25 °C, trong điều kiện lặng gió).

Đặc tuyến trên chia làm 3 vùng:

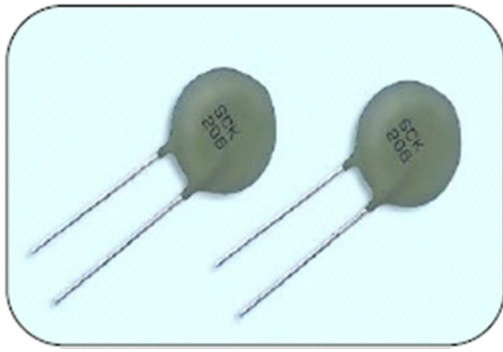
- Vùng bắt đầu đặc tuyến (giới hạn vùng này là khu vực 10 mW): năng lượng điện cung cấp cho NTC không đáng kể, lượng nhiệt sinh ra do dòng điện không đáng kể. Trong vùng này, điện trở của NTC xác định chỉ do nhiệt độ môi trường. Độ nhạy đáng kể nêu sử dụng NTC làm cảm biến nhiệt độ trong vùng này.
- Vùng 2: Do sự tăng dòng, nhiệt độ của NTC tăng cao hơn nhiệt độ môi trường. Do tự làm nóng, điện trở của NTC giảm đáng kể. Ở một giá trị dòng cho sẵn, áp tăng tối đa.
- Vùng 3 Nếu dòng vẫn tăng thêm, điện áp rơi sẽ trở nên bé. Ở cuối đường đặc tuyến điện trở của NTC gần như do năng lượng điện chuyển đổi, chỉ có một ít là do tác động bởi nhiệt môi trường.

#### \* Một số thông số của NTC

$R_{20}$  hay  $R_{25}$ : điện trở nguội hay điện trở biểu kiến là giá trị nhiệt độ của NTC ở 20°C hoặc 25°C (tuy nhiên sai số từ 5% đến 25%).

$T_{min}$ ,  $T_{max}$ : giới hạn nhiệt độ hoạt động của NTC.

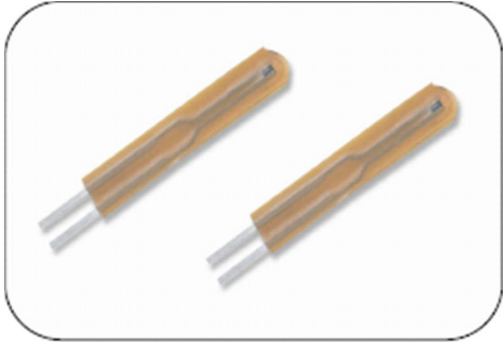
$P_{max}$  công suất lớn nhất cho phép chuyển đổi ra nhiệt trong NTC



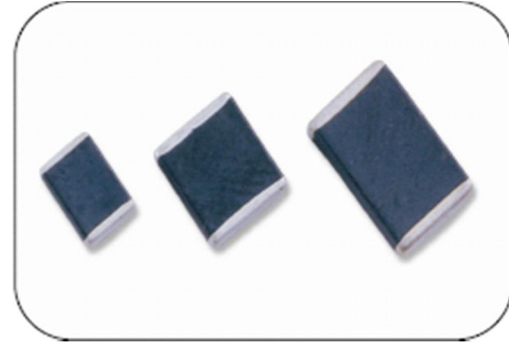
**SCK Series**



**TCF Series**



**TTF Series**



**TSM series**

Hình 2.18: Một số cảm biến NTC do công ty Thinking Electronic Industrial sản xuất

### 5.3. Ứng dụng

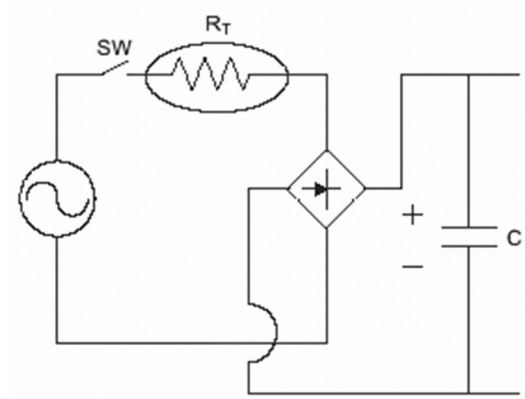
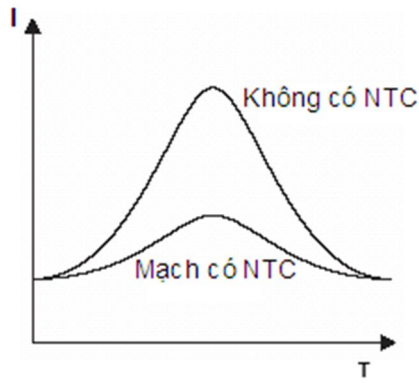
NTC có nhiều ứng dụng, chia làm 2 loại: Bộ chính, đo lường và làm bộ trễ.

#### 5.3.1 Bộ chính và đo lường

Trong đo lường và tác động bù, cần tránh hiện tượng tự sinh nhiệt do dòng qua NTC lớn. Như vậy NTC hoạt động chủ yếu trong vùng tuyến tính, như đã mô tả trước đây. Trong vùng này điện trở của NTC được xác định bằng nhiệt độ môi trường. Phạm vi chủ yếu của NTC trong lĩnh vực này là đo nhiệt độ, kiểm tra, điều khiển, tuy nhiên NTC cũng được dùng để bù tính phụ thuộc nhiệt độ của điện trở, nhằm ổn định nhiệt cho các mạch điện tử dùng bán dẫn

#### 5.3.2. Làm bộ trễ

NTC có tính chất trễ, khi dòng điện qua nó lớn đến nỗi điện trở giảm nhiều do quá trình tự tỏa nhiệt. Tải càng lớn thì điện trở NTC càng giảm mạnh. Nhiệt điện trở NTC tạo tác dụng trễ nhằm triệt dòng đỉnh trong mạch đèn chiếu sáng loại có tim, mạch động cơ công suất nhỏ, mạch đốt tim các bóng điện tử, mạch có tính dung kháng (tụ).

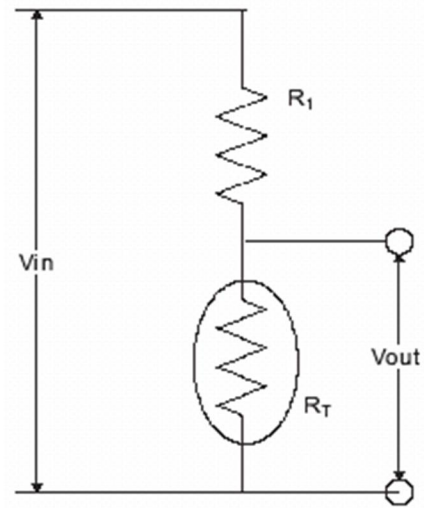
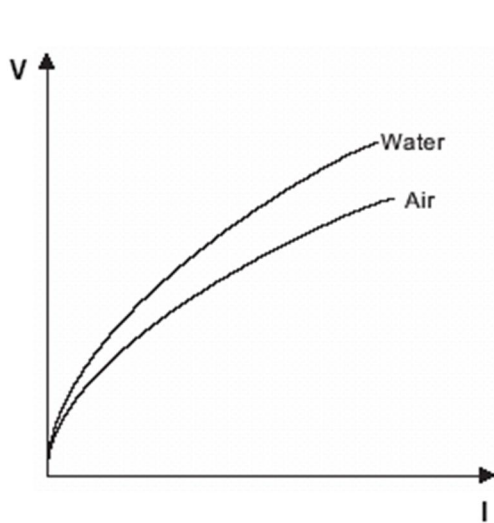


Hình 1.21

### 5.3.3. Mạch ứng dụng với NTC

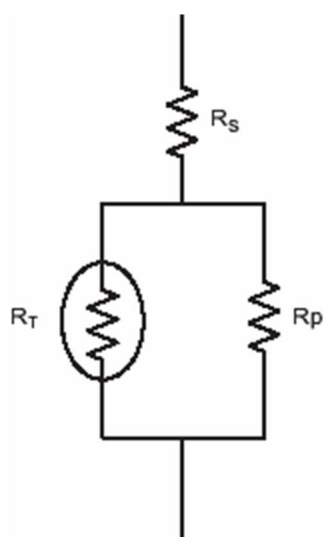
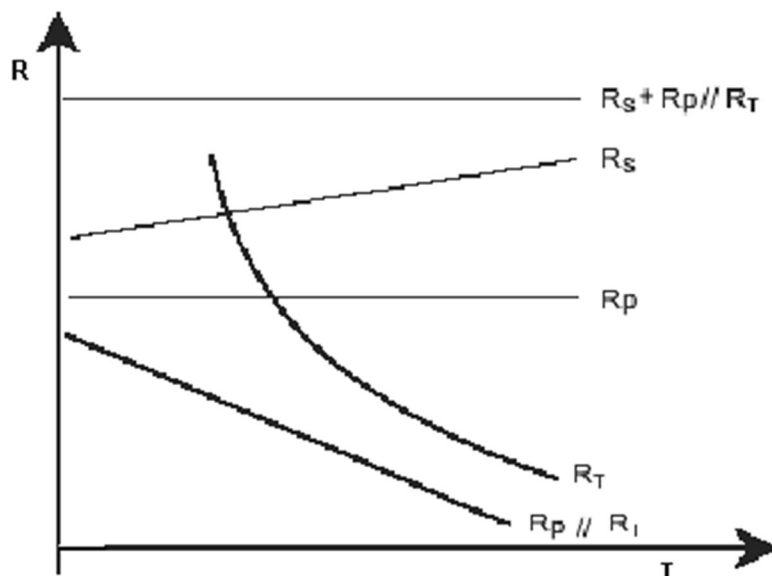
- **Đo mực chất lỏng**

Hoạt động của cảm biến dựa trên sự khác nhau về khả năng làm mát của chất lỏng và không khí hoặc hơi nước ở trên chất lỏng. Khi NTC được nhúng trong chất lỏng, nó được làm mát nhanh chóng. Điện áp rơi trên NTC tăng lên. Do hiệu ứng này NTC có thể phát hiện có sự tồn tại hay không của chất lỏng ở một vị trí.



Hình 1.22

- **Bù nhiệt**

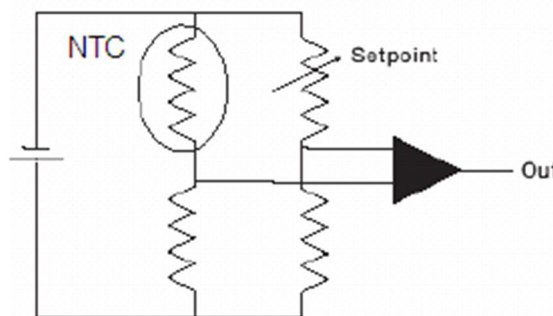


Hình 1.23

Nhiều chất bán dẫn và IC cần có sự bù nhiệt để có sự hoạt động ổn định trên dải nhiệt độ rộng. Bản thân chúng có hệ số nhiệt độ dương cho nên NTC đặc biệt thích hợp với vai trò bù nhiệt.

### Bộ điều khiển nhiệt độ

NTC được sử dụng rất nhiều trong các hệ thống điều khiển nhiệt độ. Bằng cách sử dụng một nhiệt điện trở trong mạch so sánh cơ bản, khi nhiệt độ vượt mức cài đặt, ngõ ra sẽ chuyển trạng thái từ off sang on.



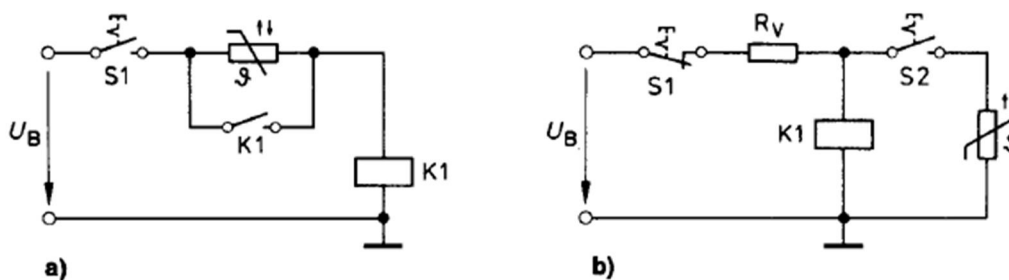
Hình 1.24

## ▪ Rơ le thời gian dùng NTC

Rơ le thời gian hiện nay đã đạt độ chính xác cao, bằng cách dùng phân tử RC và công tắc điện tử. Tuy nhiên khi không cần độ chính xác cao, có thể dùng NTC theo 2 mạch điện cơ bản sau đây.

Mạch A là rơ le thời gian đóng chậm. Sau khi nối nguồn với S1, dòng qua cuộn dây rơ le, nhưng bị giới hạn vì điện trở nguội của NTC lớn, sau 1 thời gian do quá trình tự gia nhiệt vì dòng qua nó, điện trở NTC giảm, tăng dòng, khiến rơ le tác động.

Mạch B là rơ le thời gian mở chậm. Khi đóng S2, dòng qua nhiệt điện trở, bắt đầu quá trình tự gia nhiệt. Điện áp rơi qua RS tăng, sau 1 thời gian rơ le không còn đủ dòng duy trì, bị ngắt. Thời gian trễ tùy thuộc môi trường tỏa nhiệt của NTC.



Hình 1.25

## 6. Nhiệt điện trở PTC

*Mục tiêu: Nêu được đặc tính và ứng dụng của điện trở nhiệt dương.*

Nhiệt điện trở PTC (Positive Temperature Coefficient) là loại nhiệt điện trở có hệ số nhiệt điện trở dương (giá trị điện trở tăng khi nhiệt độ tăng). Trong một khoảng nhiệt độ nhất định PTC có hệ số nhiệt độ  $\alpha_R$  rất cao.

### 6.1. Cấu tạo

Vật liệu chế tạo PTC gồm hỗn hợp barium carbonate và một vài oxit kim loại khác được ép và nung. Nhiều tính chất về điện khác nhau có thể đạt được bằng cách gia giảm các hợp chất trộn khác nhau về nguyên vật liệu và bằng cách gia nhiệt theo nhiều phương pháp khác nhau. Sau khi gia nhiệt nung kết các mối nối đã được thành hình ở trong thermistors sau đó trong quá trình sản xuất các dây nối dẫn ra ngoài được thêm vào. Nhiệt điện trở PTC thông thường được phủ ở bên ngoài một lớp vỏ có cấu tạo như vecni để chống lại ảnh hưởng của môi trường không khí.

### 6.2. Đặc tính cảm biến PTC

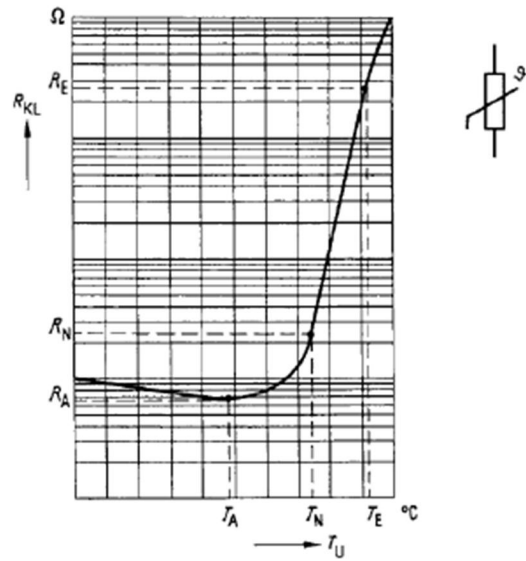
#### 6.2.1. Đường đặc tính điện trở nhiệt độ của PTC chia làm 3 vùng

- + Vùng nhiệt độ thấp: giống như nhiệt điện trở NTC có hệ số nhiệt độ âm.
- + Vùng hệ số nhiệt tăng chậm ( $T_A$ ,  $T_N$ ): Sau một vài khoảng nhiệt độ đạt được thì bắt đầu nhiệt điện trở biến đổi sang tính chất dương bắt đầu từ điểm  $T_A$ . Giá trị của nhiệt điện trở PTC ở điểm  $T_A$  được ‘xem như là điện trở khởi điểm’.  $R_A$  là giá trị điện trở thấp nhất mà PTC thể hiện.



+ Vùng làm việc ( $T_N < T < T_{UPPER}$ ): Sau khi đạt được giá trị nhiệt độ danh định  $T_N$ , giá trị điện trở của nhiệt điện trở PTC bỗng nhiên gia tăng theo độ dốc thẳng đứng thực tế thì gấp vài chục lần khi so sánh về độ dốc ở đoạn này với đoạn trước. Vùng dốc đứng này chính là dải điện trở làm việc của nhiệt điện trở PTC.

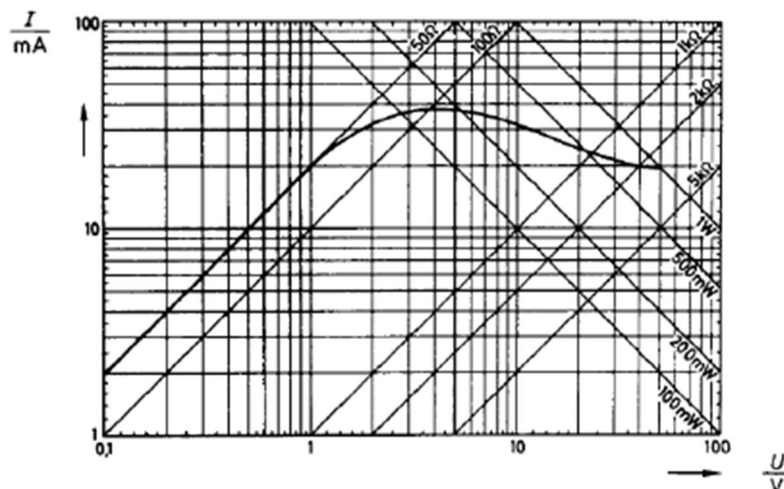
Hướng về đường đặc tuyến ở điểm nhiệt độ dần cao hơn, vùng làm việc của nhiệt điện trở PTC bị giới hạn bởi vùng nhiệt độ trên Tupper với điện trở ở vùng trên Rupper. Khi Tupper bị vượt qua, sự gia tăng điện trở sẽ ít và càng ít hơn nữa cho đến đạt được giá trị điện trở tự đặt. Và tiếp theo sau đường đặc tính ở vùng này sẽ là điểm có tính chất điện trở âm. Vùng này thường không có được chỉ ra trong đặc tính bởi vì nó nằm ngoài vùng làm việc của nhiệt điện của PTC.



Hình 1.26

Đường đặc tính dòng áp cho những loại riêng lẻ khác được cho bởi nhà sản xuất thường không theo hệ trục tọa độ tuyến tính mà lại sử dụng hệ trục log.

Tính chất dùng về dòng và áp của nhiệt điện trở PTC cũng có hình dạng giống như là tính chất của nhiệt điện trở NTC đây (hình bên)



Hình 1.27

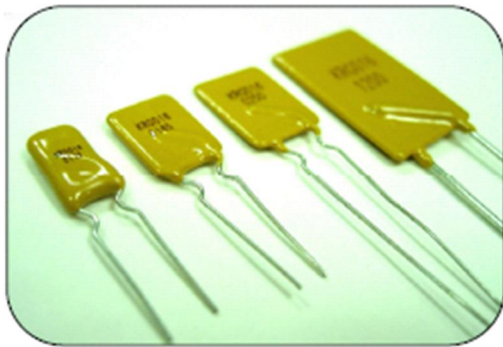
### 6.2.2. Một số thông số đặc trưng của PTC:

$T_{NOM}$  ( $T_N$ ): nhiệt độ danh định. Tại giá trị nhiệt độ  $R_N = 2 * R_A$

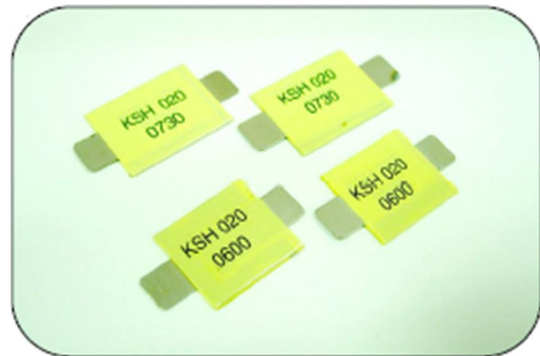
$\alpha_R$ : hệ số nhiệt độ nhiệt điện trở PTC.

$T_{UPPER}$ : nhiệt độ giới hạn vùng làm việc.

$R_{25}$ : điện trở của PTC khi ở môi trường nhiệt độ  $25^{\circ}C$

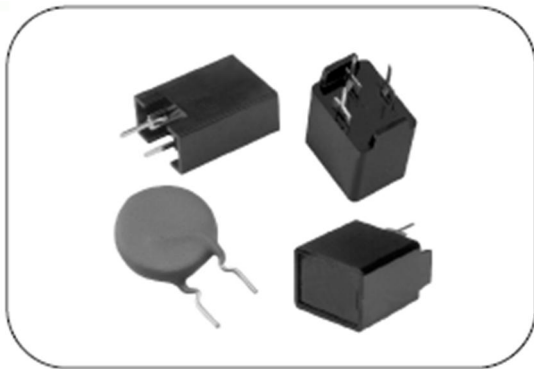


KRG Series

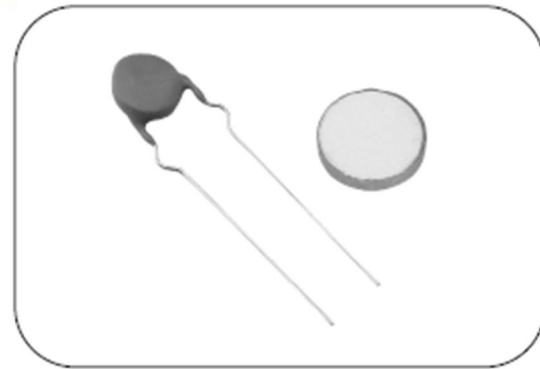


KSH Series

Hình 2.26: Một số cảm biến PTC do công ty Thinking Electronic Industrial sản xuất



PD Series



PP Series

Hình 2.27: Một số cảm biến PTC do công ty Thinking Electronic Industrial sản xuất

### 6.3. Ứng dụng

Nhiệt điện trở PTC làm việc như cảm biến có độ nhạy cao.

Ứng dụng tính chất giá trị điện trở tăng: khởi động bóng đèn huỳnh quang, mạch bảo vệ quá tải...

#### Mạch ứng dụng với PTC

Nhiệt điện trở PTC được mắc trong một cầu đo của mạch so sánh (xem hình 1.36). Tại nhiệt độ bình thường  $R_{PTC} < R_S$ , điện áp ngõ ra ở mức thấp. khi sự tăng nhiệt độ vượt ngưỡng xuất hiện, PTC bị nung nóng nên  $R_{PTC} > R_S$  nên điện áp ngõ ra  $V_O$  lên mức cao (xem hình 1.37).

#### ▪ Mạch bảo vệ động cơ

PTC được dùng để phát hiện sự tăng nhiệt bất thường trong động cơ bằng cách đo trực tiếp. cảm biến nhiệt được gắn chìm trong

cuộn stator (cho động cơ hạ áp), tín hiệu được xử lý nhờ một thiết bị điều khiển dẫn đến tác động CB.

### Thiết bị điều khiển **KLIXON 40/41/42AA series**

Thiết bị được sử dụng kết hợp với cảm biến nhiệt độ PTC, chúng tương thích với loại cảm biến Klixon BA series.

Nếu nhiệt độ ở trạng thái bình thường của cuộn dây động cơ đủ thấp để điện trở cảm biến giảm xuống mức cần thiết Reset. Thiết bị sẽ tự động reset nếu thiết bị không được cài đặt reset bằng tay.



## **Chương 2: CẢM BIẾN TIỆM CẬN VÀ MỘT SỐ LOẠI CẢM BIẾN XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ, KHOẢNG CÁCH KHÁC**

**Mã chương: MH27-2**

**Giới thiệu:** Cảm biến tiệm cận và các loại cảm biến xác định vị trí, khoảng cách có ứng dụng rất phổ biến trong mọi lĩnh vực đời sống. Việc nghiên cứu đặc điểm, cấu trúc, nguyên lý làm việc và những mạch lắp ứng dụng điển hình sẽ giúp cho người học ứng dụng một cách hiệu quả và an toàn thiết bị này.

### **Mục tiêu:**

- Trình bày được nguyên lý, cấu tạo các linh kiện cảm biến khoảng cách.
- Lắp ráp được một số mạch ứng dụng dùng các loại cảm biến khoảng cách.
- Rèn luyện tính cẩn thận, chính xác, tích cực, chủ động, sáng tạo.

### **Nội dung chính:**

#### **1. Cảm biến tiệm cận (Proximity Sensor)**

*Mục tiêu: Nêu được các đặc trưng, nguyên lý làm việc và phạm vi ứng dụng của cảm biến tiệm cận.*

##### **1.1. Đại cương**

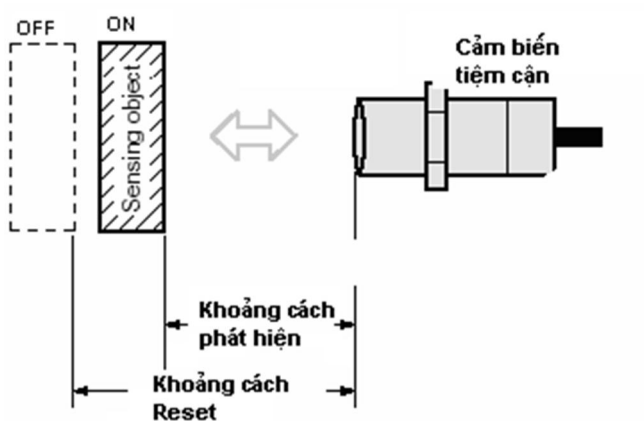
###### **1.1.1 Đặc điểm:**

- Phát hiện vật không cần tiếp xúc.
- Tốc độ đáp ứng nhanh.
- Đầu sensor nhỏ, có thể lắp ở nhiều nơi.
- Có thể sử dụng trong môi trường khắc nghiệt.

Cảm biến tiệm cận là một kỹ thuật để nhận biết sự có mặt hay không có mặt của một vật thể với cảm biến điện tử không công tắc (không đụng chạm). Cảm biến tiệm cận có một vị trí rất quan trọng trong thực tế. Thí dụ phát hiện vật trên dây chuyền để robot bắt giữ lấy; phát hiện chai, lon nhôm trên băng chuyền...vv. Tín hiệu ở ngõ ra của cảm biến thường dạng logic có hoặc không.

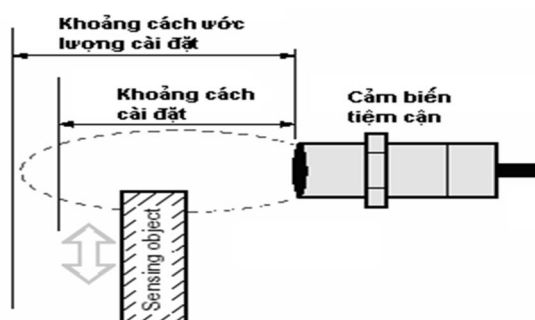
###### **1.1.2 Một số định nghĩa**

- Khoảng cách phát hiện: Khoảng cách xa nhất từ đầu cảm biến đến vị trí vật chuẩn mà cảm biến có thể phát hiện được.



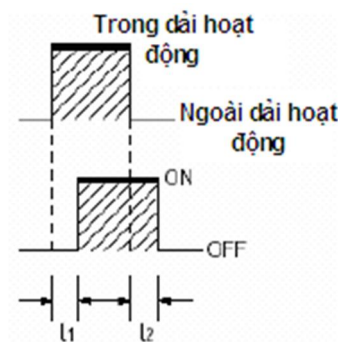
Hình 2.1

- Khoảng cách cài đặt: Khoảng cách để cảm biến có thể nhận biết vật một cách ổn định (thường bằng 70 – 80% khoảng cách phát hiện)



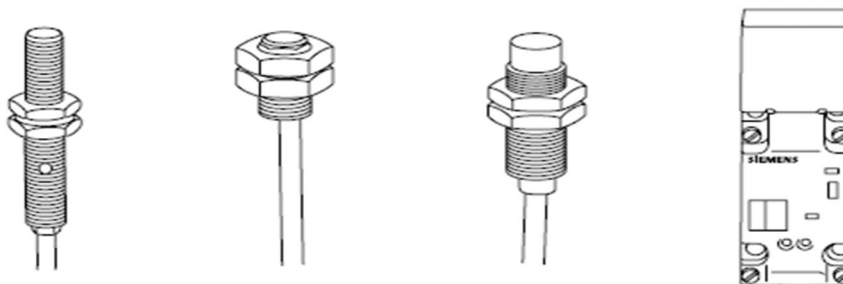
Hình 2.2

- Thời gian đáp ứng:
  - $t_1$ : Thời gian từ lúc đối tượng đi vào vùng phát hiện của cảm biến đến lúc cảm biến báo tín hiệu
  - $t_2$ : Thời gian từ lúc đối tượng chuẩn đi ra khỏi vùng phát hiện cho đến khi cảm biến hết báo tín hiệu



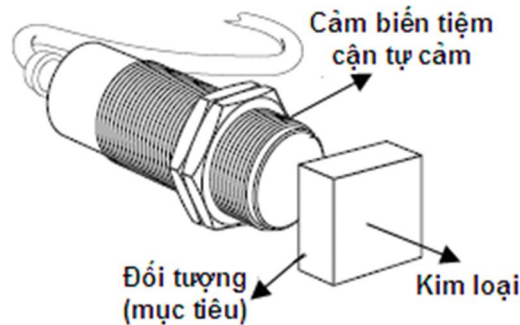
Hình 2.3

## 1.2 Cảm biến tiệm cận điện cảm (Inductive Proximity Sensor)



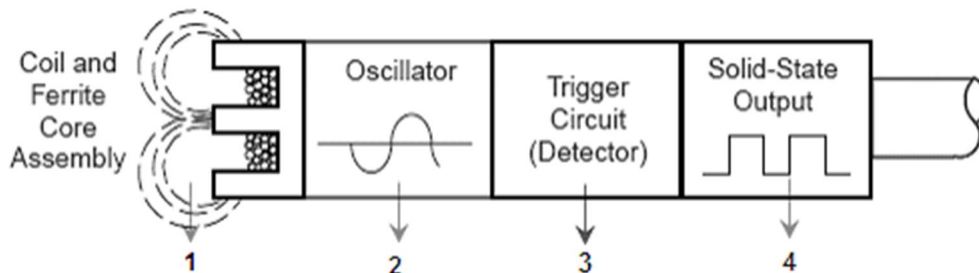
Hình 2.4 Vài loại cảm biến tiệm cận điện cảm của Siemens

Cảm biến tiệm cận điện cảm có nhiều kích thước và hình dạng khác nhau tương ứng với các ứng dụng khác nhau. Cảm biến tiệm cận điện cảm được dùng để phát hiện các đối tượng là kim loại (loại cảm biến này không thể phát hiện các đối tượng có cấu tạo không phải là kim loại).



Hình 2.5

### 1.2.1. Cấu trúc của cảm biến tiệm cận điện cảm



Hình 2.6: Cấu trúc của cảm biến

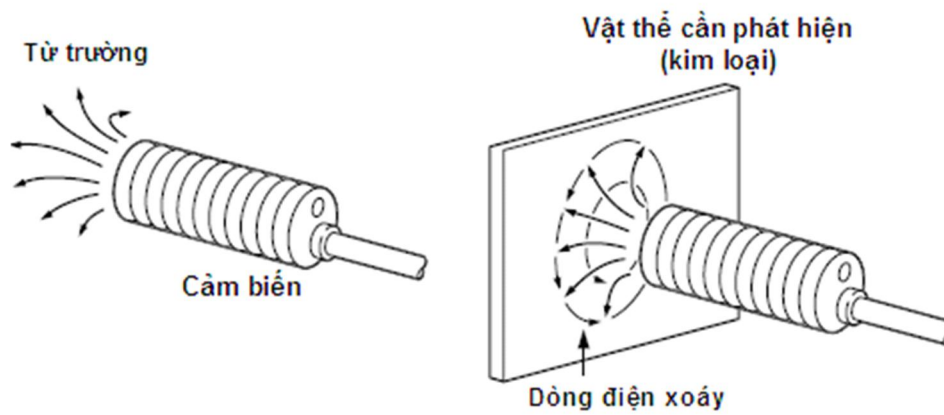
Gồm 4 phần chính:

- 1 - Cuộn dây và lõi ferit
- 2 - Mạch dao động
- 3 - Mạch phát hiện
- 4 - Mạch đầu ra

### 1.2.2. Nguyên lý hoạt động của cảm biến tiệm cận điện cảm

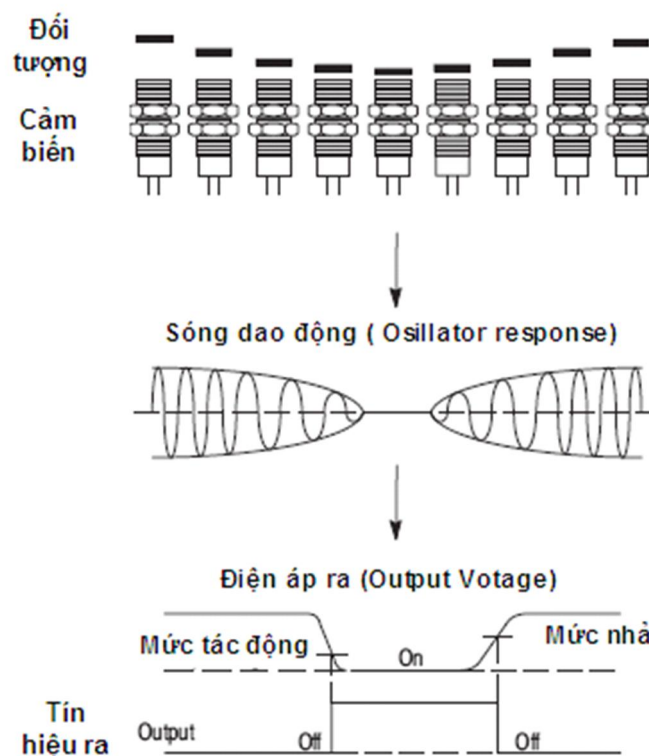
Cảm biến tiệm cận điện cảm được thiết kế để tạo ra một vùng điện từ trường. Khi một vật bằng kim loại tiến vào khu vực này, xuất hiện dòng điện xoáy (dòng điện cảm ứng) trong vật thể kim loại này.

Dòng điện xoáy gây nên sự tiêu hao năng lượng (do điện trở của kim loại), làm ảnh hưởng đến biên độ sóng dao động. Đến một trị số nào đó tín hiệu này được ghi nhận.



Hình 2.7 Nguyên lý làm việc của cảm biến điện cảm

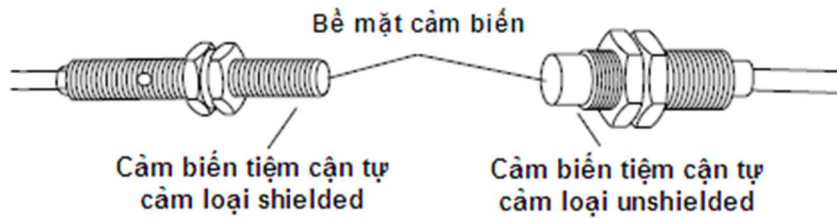
Mạch phát hiện sẽ phát hiện sự thay đổi tín hiệu và tác động để mạch ra lên mức ON (hình 2.8). Khi đối tượng rời khỏi khu vực điện trường, sự dao động được tái lập, cảm biến trở lại trạng thái bình thường.



Hình 2.8: Hoạt động của cảm biến tiệm cận điện cảm

### 1.2.3. Phân loại cảm biến tiệm cận điện cảm

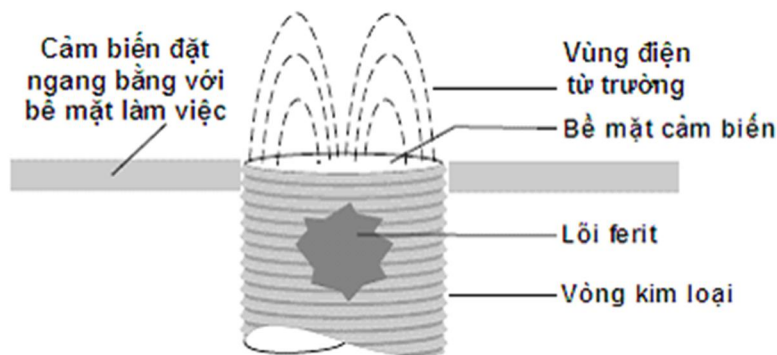
Cảm biến tiệm cận điện cảm có thể phân làm 2 loại: Shielded (được bảo vệ) và unshielded (không được bảo vệ). Loại unshielded thường có tầm phát hiện lớn hơn loại shielded.



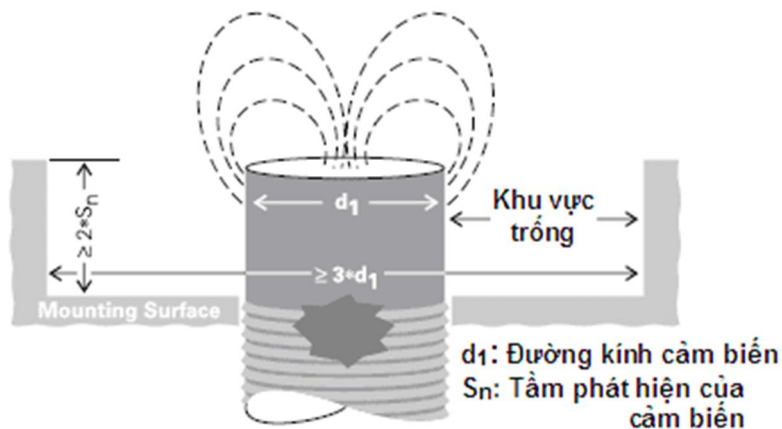
Hình 2.9: Hình dáng ngoài của cảm biến tiệm cận điện cảm

Cảm biến tiệm cận điện cảm loại shielded có 1 vòng kim loại bao quanh giúp hạn chế vùng điện từ trường ở vùng bên. Vị trí lắp đặt cảm biến có thể đặt ngang bằng với bề mặt làm việc.

Cảm biến tiệm cận điện cảm loại unshielded không có vòng kim loại bao quanh. Không thể lắp đặt cảm biến ngang bằng bề mặt làm việc (bằng kim loại). Xung quanh cảm biến phải có 1 vùng không có chứa kim loại (với cảm biến loại unshield của Siemens, kích thước (hình 2.11.)



Hình 2.10: Cảm biến tiệm cận điện cảm loại shielded



Hình 2.11 Cảm biến tiệm cận điện cảm loại unshielded

Ở cả 2 loại cảm biến shield và unshield, nếu có 1 bề mặt kim loại ở vị trí đối diện cảm biến, để không ảnh hưởng đến hoạt động của cảm biến thì bề mặt kim loại này phải cách bề mặt cảm biến 1 khoảng cách có độ lớn ít nhất gấp 3 lần tầm phát hiện của cảm biến.

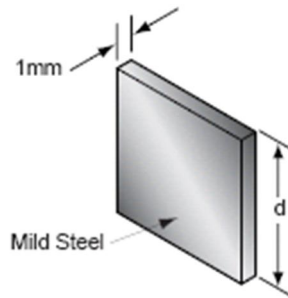


### 1.2.4. Những yếu tố ảnh hưởng đến tầm phát hiện của cảm biến tiệm cận điện cảm

- + Kích thước, hình dáng, vật liệu lõi và cuộn dây.
- + Vật liệu và kích thước đối tượng
- + Nhiệt độ môi trường

Đặc điểm của đối tượng (mục tiêu) tiêu chuẩn: hình vuông, độ dài cạnh bằng  $d$  (đường kính của bề mặt cảm biến), dày 1 mm và làm bằng thép mềm.

Nếu đối tượng cần phát hiện có kích thước nhỏ hơn tiêu chuẩn, tầm phát hiện của cảm biến sẽ giảm xuống (do dòng điện xoáy yếu đi) nhưng nếu kích thước lớn hơn kích thước tiêu chuẩn không có nghĩa là tầm phát hiện tăng lên.



Hình 2.12: Đối tượng tiêu chuẩn

Đề hiệu chỉnh khoảng cách tầm cảm biến phụ thuộc vào vật liệu người ta sử dụng bảng 1 và bảng 2:

$$S_{\text{new}} = S_n * \text{hệ số}$$

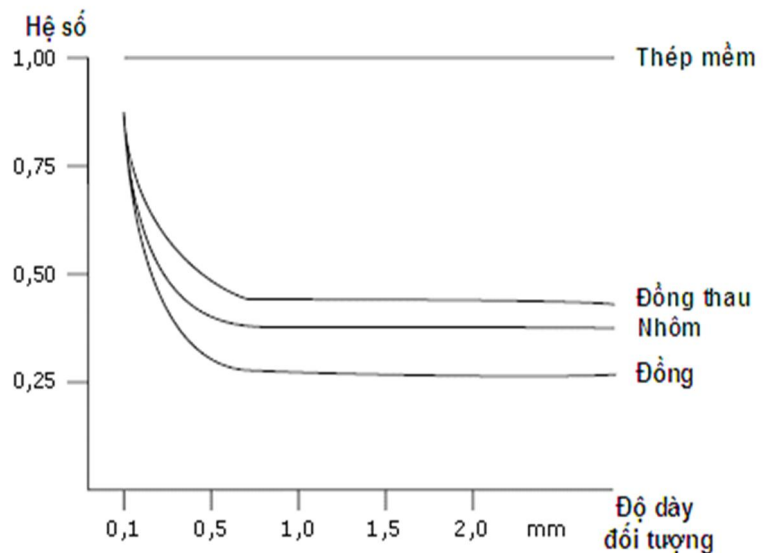
$S_{\text{new}}$ : Tầm phát hiện mới của cảm biến tương ứng kích thước và vật liệu của cảm biến

$S_n$ : Tầm phát hiện của cảm biến với đối tượng tiêu chuẩn

Bảng 1		
Vật liệu	Hệ số 1	
	Shielded	Unshielded
Thép mềm (mild steel)	1,00	1,00
Thép không gỉ (300)	0,70	0,80
Đồng thau	0,40	0,50
Nhôm	0,35	0,45
Đồng	0,30	0,40

Bảng 2		
Kích thước của đối tượng so với kích thước tiêu chuẩn	Hệ số 2	
	Shielded	Unshielded
25%	0,56	0,50
50%	0,83	0,73
75%	0,92	0,90
100%	1,00	1,00

Độ dày của đối tượng cũng là một yếu tố ảnh hưởng đến tầm phát hiện của cảm biến. Đối với những vật liệu không mang từ tính (không chứa chất sắt) như đồng, nhôm, đồng thau chịu ảnh hưởng của “hiệu ứng bề mặt”. Tầm phát hiện của cảm biến tăng lên khi độ dày đối tượng giảm.



Hình 2.13

Ghi chú: Hệ số giúp điều chỉnh tầm phát hiện của cảm biến

#### 1.2.5. Ưu nhược điểm của cảm biến tiệm cận điện cảm

##### • Ưu điểm

- Không chịu ảnh hưởng của độ ẩm
- Không có bộ phận chuyển động.
- Không chịu ảnh hưởng của bụi bặm.
- Không phụ thuộc vào màu sắc.
- Ít phụ thuộc vào bề mặt đối tượng hơn so với các kỹ thuật khác.
- Không có “khu vực mù” (blind zone: cảm biến không phát hiện ra đối tượng mặc dù đối tượng ở gần cảm biến).

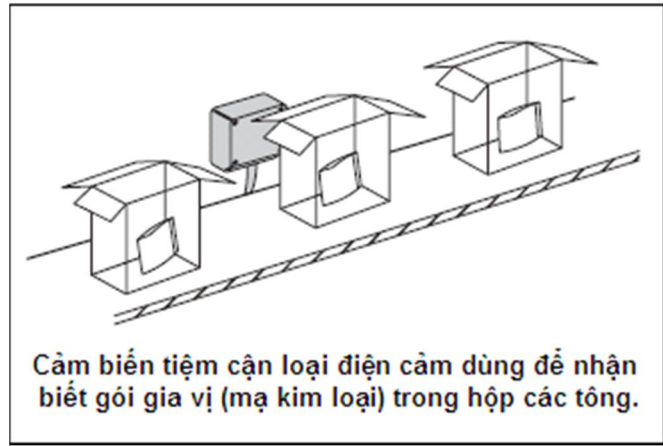
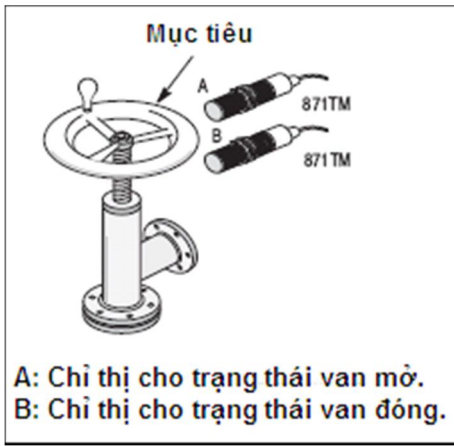
##### • Khuyết điểm

- Chỉ phát hiện được đối tượng là kim loại.
- Có thể chịu ảnh hưởng bởi các vùng điện từ mạnh.
- Phạm vi hoạt động ngắn hơn so với các kỹ thuật khác.

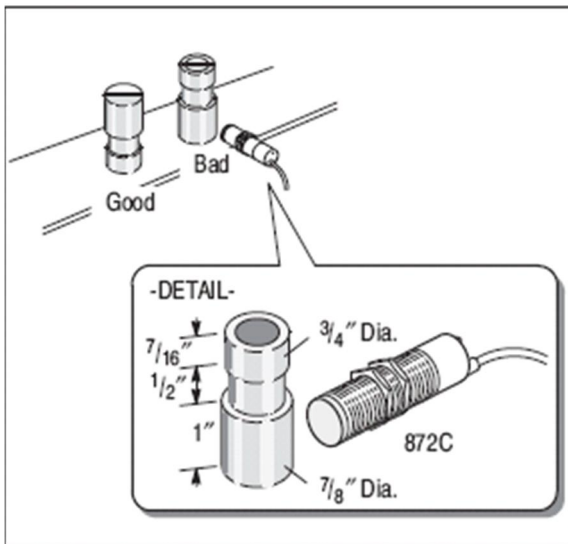
#### 1.2.6. Một số ứng dụng của cảm biến tiệm cận điện cảm

Công nghiệp dầu mỏ  
(xác định vị trí của van)

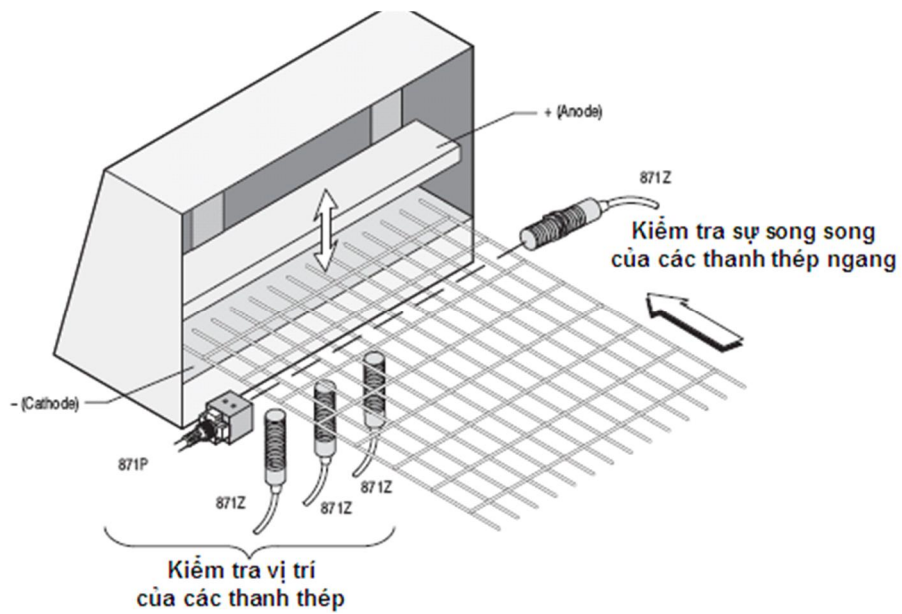
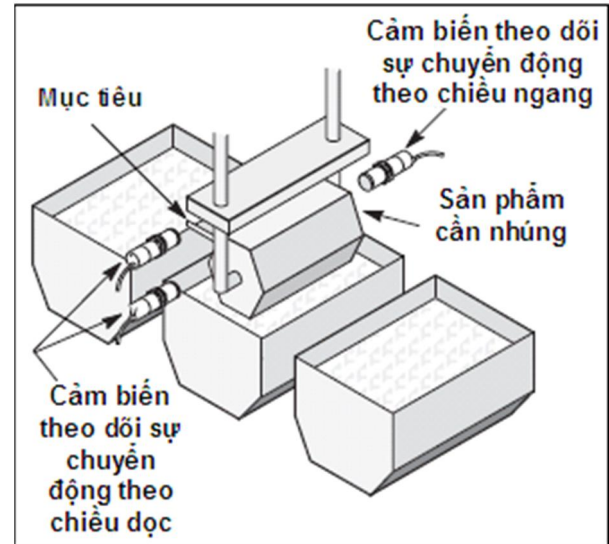
Công nghiệp đóng gói



### Kiểm tra vị trí của sản phẩm

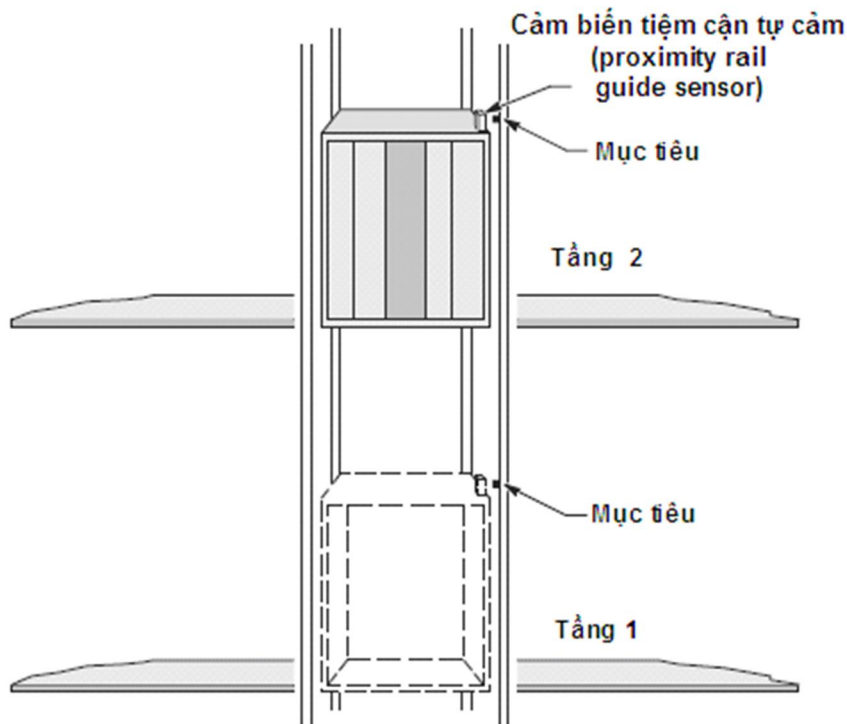


### Công nghệ mạ



### Hệ thống điều khiển kiểm tra vị trí

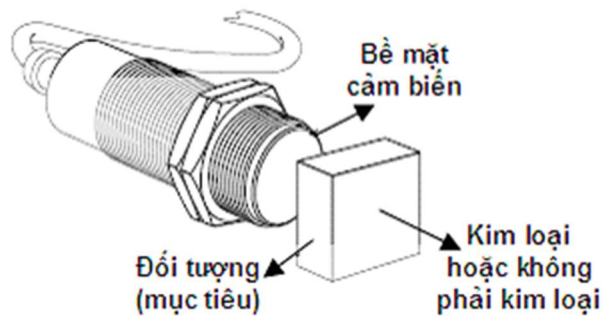
của các thanh thép trước khi đưa vào máy hàn



Xác định vị trí của thang máy

### 1.3. Cảm biến tiệm cận điện dung (Capacitive Proximity Sensor)

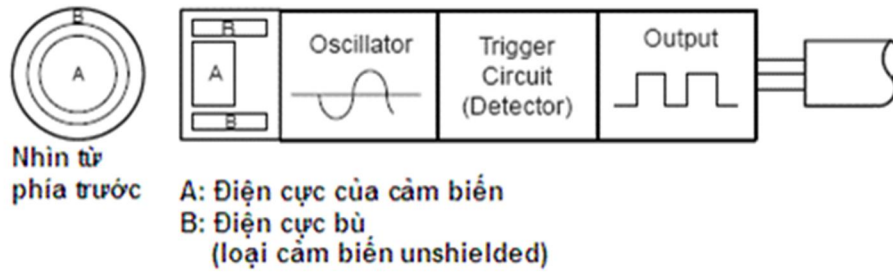
Cảm biến tiệm cận điện dung giống về kích thước, hình dáng, cơ sở hoạt động so với cảm biến tiệm cận điện cảm. Điểm khác biệt căn bản giữa chúng là cảm biến tiệm cận điện dung tạo ra vùng điện trường còn cảm biến tiệm cận điện cảm tạo ra vùng điện từ trường. Cảm biến tiệm cận điện dung có thể phát hiện đối tượng có chất liệu kim loại cũng như không phải kim loại.



Hình 2.14

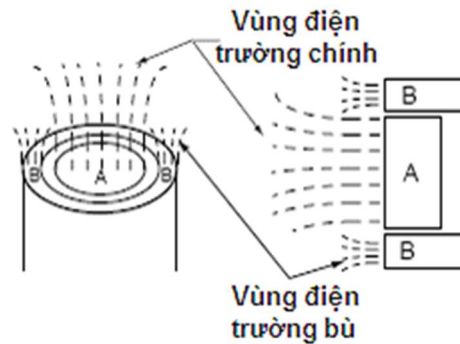
#### 1.3.1 Cấu trúc của cảm biến tiệm cận điện dung

Cũng giống như cảm biến tiệm cận điện cảm, cảm biến tiệm cận loại điện dung có 4 phần:



Hình 2.15

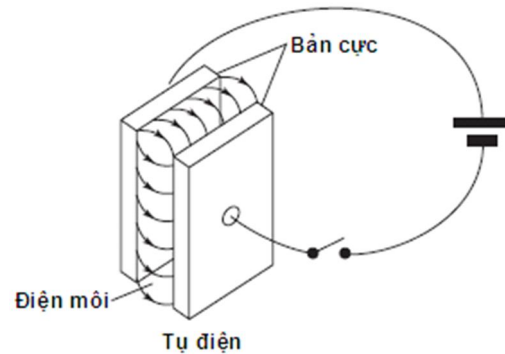
- Bộ phận cảm biến (các bản cực(điện cực) cách điện) (hình 2.16)
- Mạch dao động
- Mạch ghi nhận tín hiệu
- Mạch điện ở ngõ ra



Hình 2.16

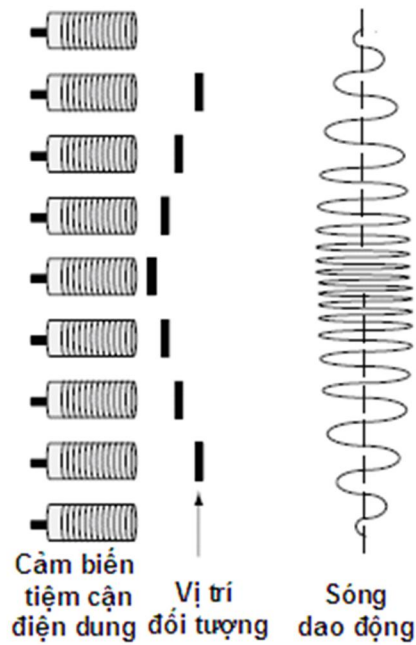
### 1.3.2. Nguyên lý hoạt động của cảm biến tiệm cận điện dung

- Tụ điện gồm hai bản cực và chất điện môi ở giữa. Khoảng cách giữa hai điện cực ảnh hưởng đến khả năng tích trữ điện tích của một tụ điện (điện dung là đại lượng đặc trưng cho khả năng tích trữ điện tích của một tụ điện).

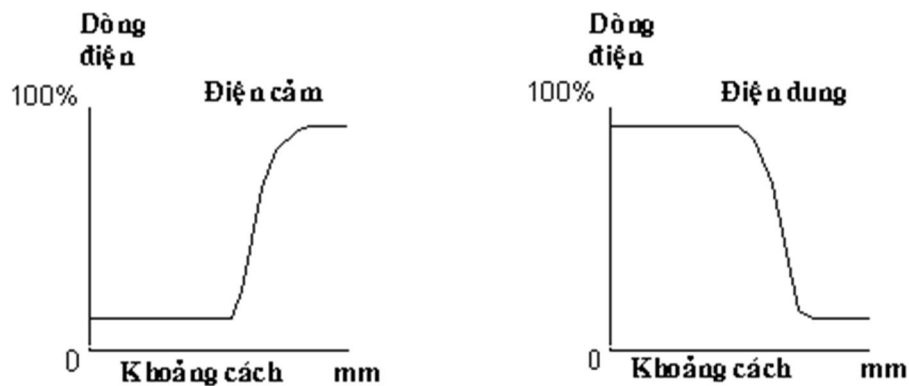


Hình 2.17

- Nguyên tắc hoạt động của cảm biến tiệm cận loại điện dung dựa trên sự thay đổi điện dung khi vật thể xuất hiện trong vùng điện trường. Từ sự thay đổi này trạng thái “On” hay “Off” của tín hiệu ngõ ra được xác định.
- Một bản cực là thành phần của cảm biến, đối tượng cần phát hiện là bản cực còn lại.
- Mối quan hệ giữa biên độ sóng dao động và vị trí đối tượng ở cảm biến tiệm cận điện dung trái ngược so với cảm biến tiệm cận điện cảm.



Hình 2.18: Hoạt động của cảm biến tiệm cận điện dung



Hình 2.19: Sóng dao động ở mạch dao động của cảm biến điện cảm và điện dung

- Cảm biến tiệm cận loại điện dung có thể phát hiện bất cứ loại đối tượng nào có hằng số điện môi lớn hơn không khí. Vật liệu càng có hằng số điện môi càng cao thì càng dễ được cảm biến phát hiện. Ví dụ nước và không khí, cảm biến tiệm cận điện dung rất dễ dàng phát hiện ra nước (hằng số điện môi = 80) nhưng không thể nhận ra không khí (hằng số điện môi = 1).
- Đối với các chất kim loại khác nhau, khả năng phát hiện của cảm biến là không đổi. Nhưng đối với các chất khác, thì phạm vi phát hiện của cảm biến đối với từng chất là khác nhau.

Vì vậy, cảm biến tiệm cận điện dung có thể dùng để phát hiện các vật liệu có hằng số điện môi cao như chất lỏng dù nó được chứa trong hộp kín (làm bằng chất liệu có hằng số điện



môi thấp hơn như thủy tinh, plastic). Cần chắc chắn rằng đối tượng cảm biến phát hiện là chất lỏng chứ không phải hộp chứa.



Hình 2.20

### 1.3.3. Phân loại cảm biến tiệm cận điện dung

Cảm biến tiệm cận điện dung cũng phân thành 2 loại: shielded (được bảo vệ) và unshielded (không được bảo vệ).

Loại shielded có vòng kim loại bao quanh giúp hướng vùng điện trường về phía trước và có thể đặt ngang bằng với bề mặt làm việc.

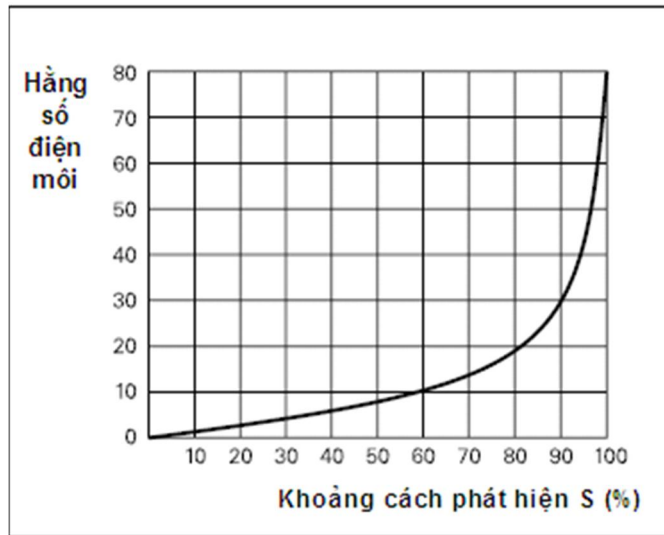
Loại unshielded không có vòng kim loại bao quanh và không thể đặt ngang bằng với bề mặt làm việc. Xung quanh cảm biến phải có 1 vùng trống (giống cảm biến tiệm cận điện cảm loại unshielded), kích thước vùng trống tùy thuộc vào từng loại cảm biến.

### 1.3.4. Những yếu tố ảnh hưởng đến tầm phát hiện của cảm biến tiệm cận điện dung

- + Kích thước của điện cực của cảm biến.
- + Vật liệu và kích thước đối tượng
- + Nhiệt độ môi trường

#### Đối tượng tiêu chuẩn và hằng số điện môi

Đối tượng tiêu chuẩn được chỉ định riêng với từng loại cảm biến tiệm cận điện dung. Thông thường chất liệu của đối tượng tiêu chuẩn được định nghĩa là kim loại hoặc nước.



Hình 2.21: Biểu diễn mối quan hệ giữa khả năng phát hiện đối tượng và hằng số điện môi.

Hình 2.21 Biểu diễn mối quan hệ giữa khả năng phát hiện đối tượng và hằng số điện môi.

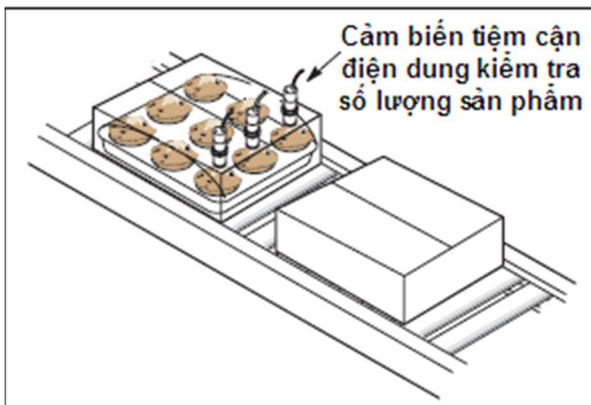
### 1.3.5. Ưu điểm và nhược điểm của cảm biến tiệm cận điện dung

- **Ưu điểm**
  - Có thể cảm nhận vật dẫn điện và không dẫn điện.

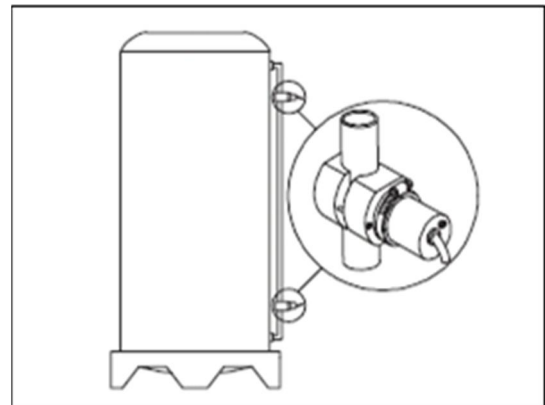
- Tính chất tuyến tính và độ nhạy không tùy thuộc vào vật liệu kim loại.
- Nó có thể cảm nhận được vật thể nhỏ, nhẹ.
- Vận tốc hoạt động nhanh.
- Tuổi thọ cao và độ ổn định cũng cao đối với nhiệt độ.
- **Nhược điểm**
  - Bị ảnh hưởng bởi độ ẩm
  - Dây nối với sensor phải ngắn để điện dung dây không ảnh hưởng đến bộ cộng hưởng của bộ dao động.

### 1.3.6. Một số ứng dụng của cảm biến tiệm cận điện dung

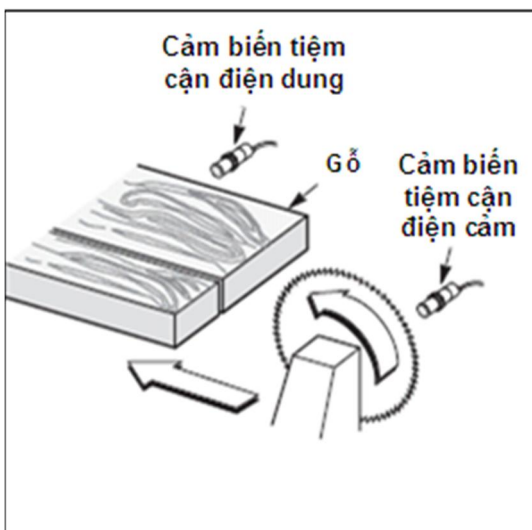
Công nghiệp thực phẩm



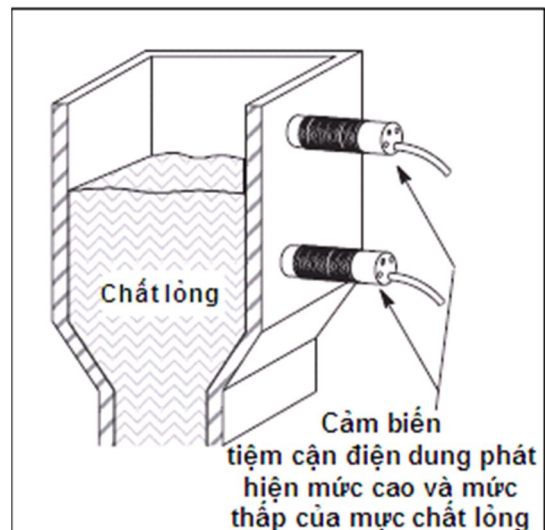
Đo mực chất lỏng



Chế biến gỗ



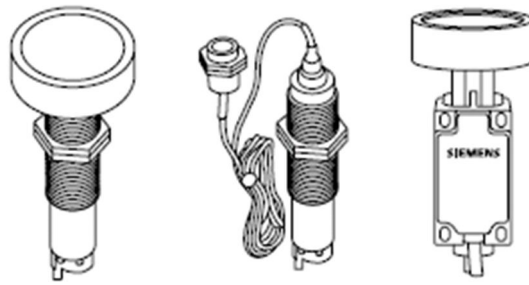
Đo mực chất lỏng



### 1.4. Cảm biến tiệm cận siêu âm (Ultrasonic proximity sensor)

Cảm biến tiệm cận siêu âm có thể phát hiện hầu hết các loại đối tượng: kim loại hoặc không phải là kim loại, chất lỏng hoặc chất rắn, vật trong hoặc mờ đục (những vật có hệ số phản xạ sóng âm thanh đủ lớn).





Hình 2.22: Một vài loại cảm biến tiệm cận siêu âm do Siemens sản xuất

### 1.4.1. Cấu trúc cảm biến tiệm cận siêu âm

Cảm biến tiệm cận siêu âm có 4 phần chính:

- Bộ phận phát và nhận sóng siêu âm (Transducer / Receiver):
- Bộ phận so sánh (Comparator)
- Mạch phát hiện (Detector Circuit)

Khi cảm biến nhận được sóng phản hồi, bộ phận so sánh tính toán khoảng cách bằng cách so sánh thời gian phát, nhận và vận tốc âm thanh.

- Mạch điện ngõ ra (Output):

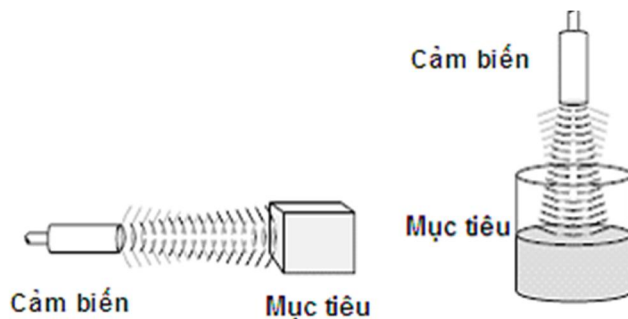
Tín hiệu ngõ ra có thể là digital hoặc analog. Tín hiệu từ cảm biến digital báo có hay không sự xuất hiện đối tượng trong vùng cảm nhận của cảm biến. Tín hiệu từ cảm biến analog chứa đựng thông tin khoảng cách của đối tượng đến cảm biến.



Hình 2.23: Các thành phần của cảm biến tiệm cận siêu âm

### 1.4.2. Nguyên lý hoạt động cảm biến tiệm cận siêu âm

Kĩ thuật cảm biến siêu âm dựa trên đặc điểm vận tốc âm thanh là hằng số. Thời gian sóng âm thanh đi từ cảm biến đến đối tượng và quay trở lại liên hệ trực tiếp đến độ dài quãng đường. Vì vậy cảm biến siêu âm thường được dùng trong các ứng dụng đo khoảng cách.



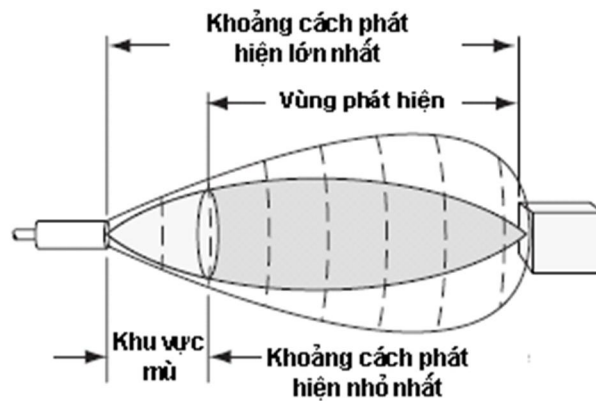
Hình 2.24 Sóng âm thanh phản hồi khi đối tượng (mục tiêu) là chất rắn, chất lỏng.

Tần số hoạt động: Nhìn chung, các cảm biến công nghiệp hoạt động với tần số 25 khz đến 500 Khz. Các cảm biến trong lĩnh vực y khoa thì hoạt động với khoảng tần số từ 5MHz trở lên. Tần số hoạt động của cảm biến tỉ lệ nghịch với khoảng cách phát hiện cảm biến. Với tần số 50 kHz, phạm vi hoạt

động của cảm biến có thể lên tới 10 m hoặc hơn, với tần số 200 kHz thì phạm vi hoạt động cảm biến bị giới hạn ở mức 1 m.

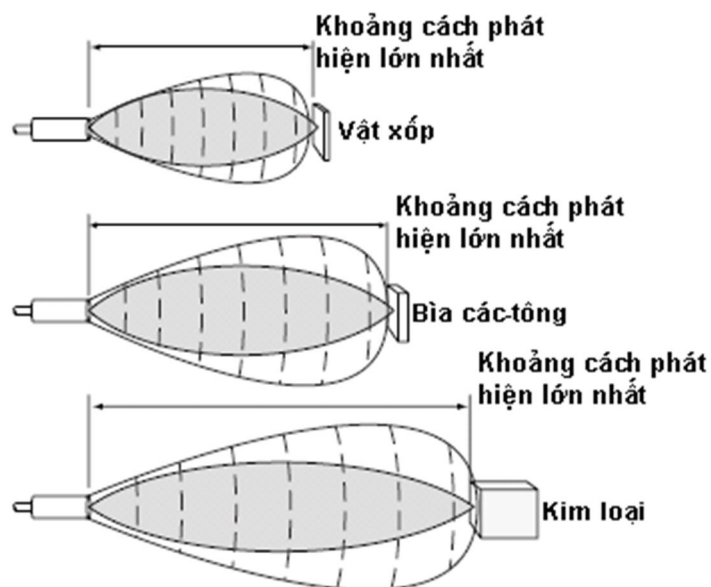
Vùng hoạt động: là khu vực giữa 2 giới hạn khoảng cách phát hiện lớn nhất và nhỏ nhất

Cảm biến tiệm cận siêu âm có một vùng nhỏ không thể sử dụng gần bề mặt cảm biến gọi là “khu vực mù” (blind zone).



Hình 2.25: Vùng hoạt động của cảm biến tiệm cận siêu âm

Kích thước và vật liệu của đối tượng cần phát hiện quyết định khoảng cách phát hiện lớn nhất (xem hình 2.26).



Hình 2.26: Khoảng cách hoạt động lớn nhất của cảm biến tiệm cận siêu âm với các đối tượng khác nhau

### 1.4.3. Cảm biến tiệm cận siêu âm loại có thể điều chỉnh khoảng cách phát hiện (Background Suppression)

Một số dạng cảm biến ngõ ra analog cho phép điều chỉnh khoảng cách phát hiện, chúng có thể từ chối việc phát hiện các đối tượng sau một khoảng cách xác định. Khoảng cách phát hiện có thể điều chỉnh bởi người sử dụng.

Ngoài ra để cảm biến không phát hiện đối tượng dù chúng di chuyển vào vùng hoạt động của cảm biến, người ta có thể tạo 1 lớp vỏ bằng chất liệu có khả năng không phản xạ lại sóng âm thanh.

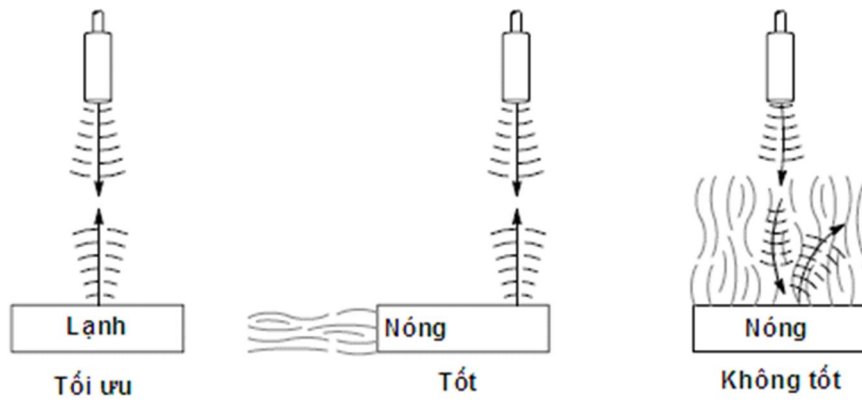
#### **1.4.4. Ưu, nhược điểm của cảm biến tiệm cận siêu âm**

- **Ưu điểm**

- Khoảng cách mà cảm biến có thể phát hiện vật thể lên tới 15m.
- đối tượng hay tính chất phản xạ ánh sáng của đối tượng ví dụ bề mặt kính trong suốt, bề mặt gốm màu nâu, bề mặt plastic màu trắng, hay bề mặt chất liệu nhôm sáng, trắng... là như nhau.
- Tín hiệu đáp ứng của cảm biến tiệm cận siêu âm analog là tỉ lệ tuyến tính với khoảng cách. Điều này đặc biệt lý tưởng cho các ứng dụng như theo dõi các mức của vật chất, mức độ chuyển động của đối tượng.

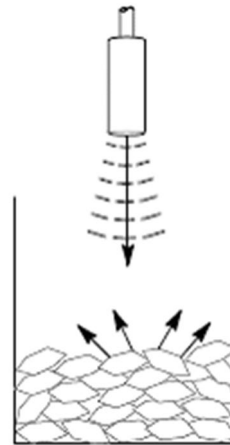
- **Nhược điểm**

- Cảm biến tiệm cận siêu âm yêu cầu đối tượng có một diện tích bề mặt tối thiểu (giá trị này tùy thuộc vào từng loại cảm biến).
- Sóng phản hồi cảm biến nhận được có thể chịu ảnh hưởng của các sóng âm thanh tạp âm.
- Cảm biến tiệm cận siêu âm yêu cầu một khoảng thời gian sau mỗi lần sóng phát đi để sẵn sàng nhận sóng phản hồi. Kết quả thời gian đáp ứng của cảm biến tiệm cận siêu âm nhìn chung chậm hơn các cảm biến khác khoảng 0,1 s.
- Với các đối tượng có mật độ vật chất thấp như bột hay vải (quần áo) rất khó để phát hiện với khoảng cách lớn.
- Cảm biến tiệm cận siêu âm bị giới hạn khoảng cách phát hiện nhỏ nhất.
- Sự thay đổi của môi trường như nhiệt độ (vận tốc âm thanh phụ thuộc vào nhiệt độ), áp suất, sự chuyển không đồng đều của không khí, bụi bẩn bay trong không khí gây ảnh hưởng đến kết quả đo.
- Nhiệt độ bề mặt của đối tượng của ảnh hưởng đến phạm vi hoạt động của cảm biến. Hơi nóng tỏa ra từ đối tượng có nhiệt độ cao làm méo dạng sóng, làm cho khoảng cách phát hiện của đối tượng ngắn lại và giá trị khoảng cách không chính xác.

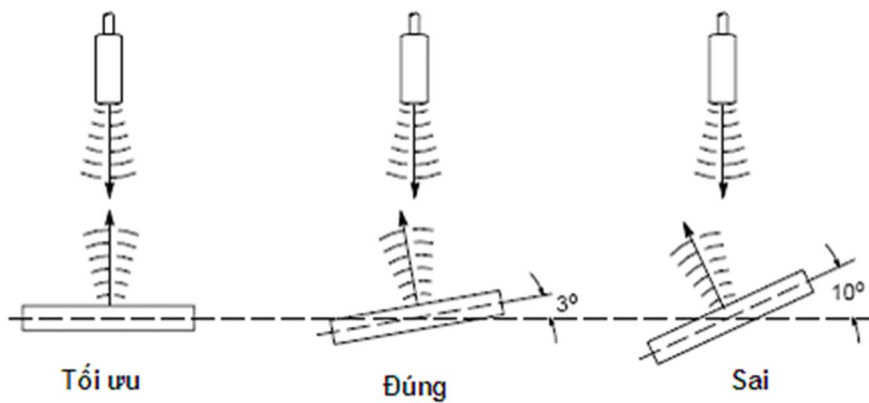


Hình 2.27: Ảnh hưởng của nhiệt độ đối với sóng phản hồi

- Bề mặt phẳng phản hồi năng lượng của sóng âm thanh tốt hơn bề mặt gồ ghề. Tuy nhiên bề mặt trơn phẳng lại có đòi hỏi khắc khe về vị trí góc tạo thành giữa cảm biến và mặt phẳng đối tượng (xem hình 2.27 và hình 2.28).



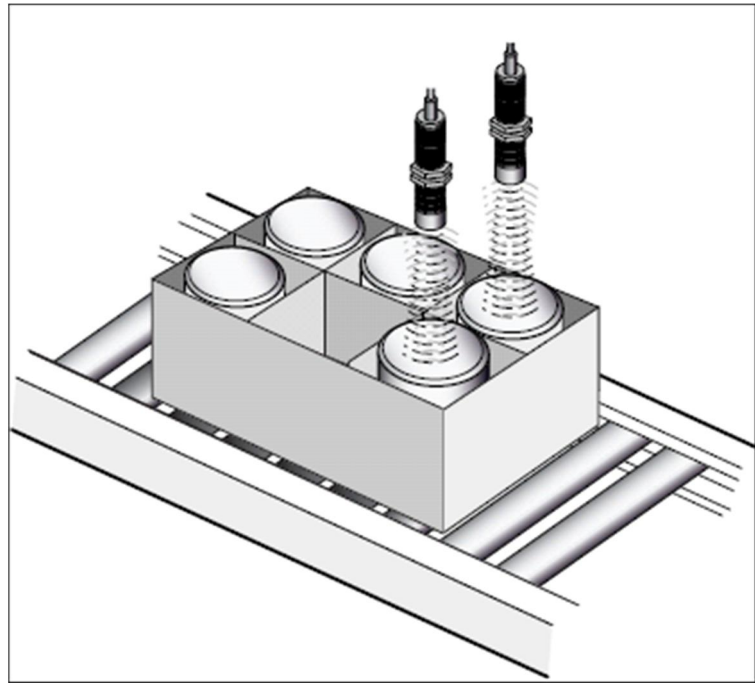
Hình 2.28: Đối tượng có bề mặt gồ ghề không yêu cầu cảm biến đặt ở vị trí chính xác



Hình 2.29: Đối tượng có bề mặt phẳng yêu cầu cảm biến đặt ở vị trí tạo thành góc phải bằng hoặc nhỏ hơn  $3^{\circ}$ .

#### 1.4.5. Một số ứng dụng của cảm biến tiệm cận siêu âm

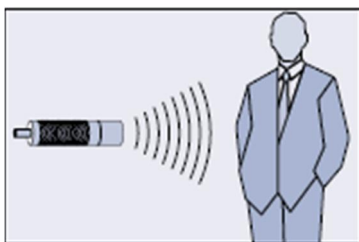
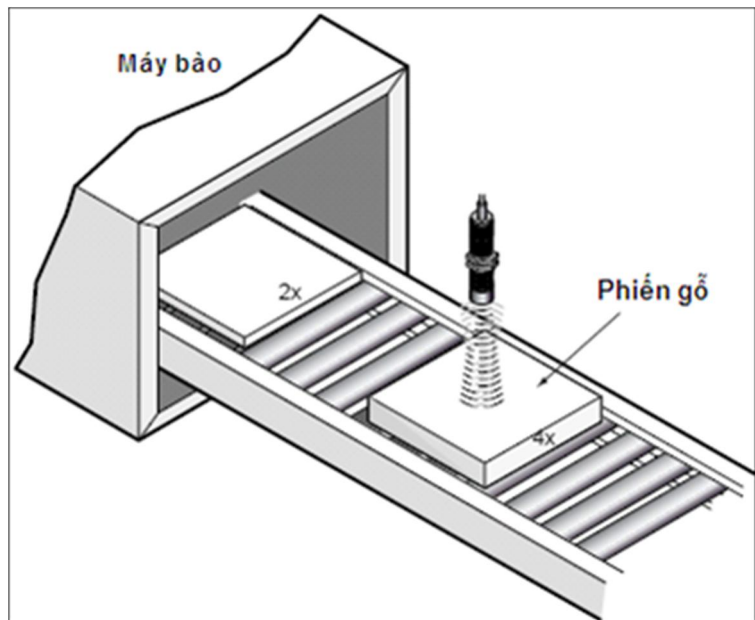
Phát hiện sự hiện diện, không hiện diện của đối tượng trong suốt bằng thủy tinh.



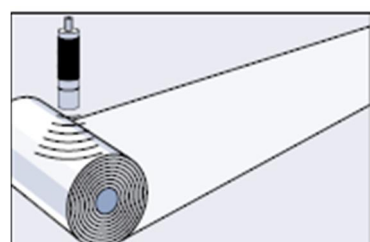
Dùng trong điều khiển mực chất lỏng.



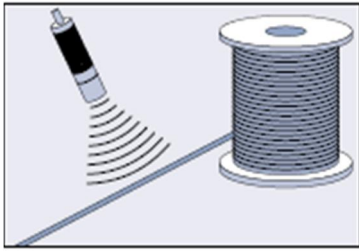
Đo khoảng cách, độ cao, hay vị trí của phiến gỗ trên dây chuyền



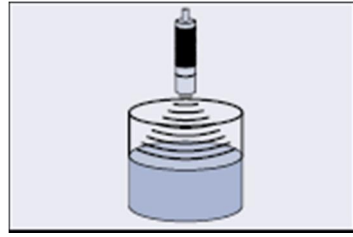
Phát hiện người



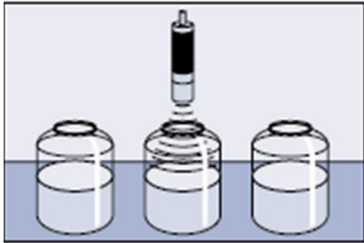
Phát hiện đường kính



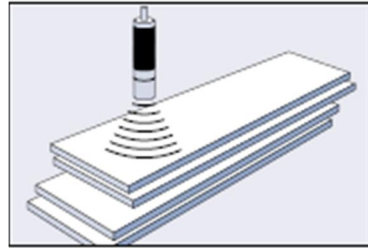
Phát hiện dây bị đứt



Đo mực chất lỏng



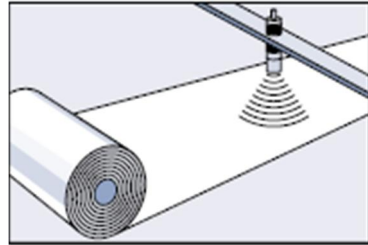
Đo mực chất lỏng trong lọ  
(có cổ nhỏ)



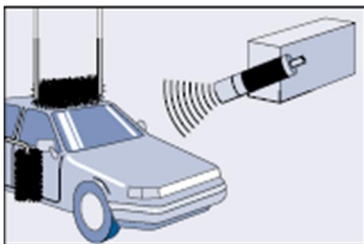
Phát hiện chiều cao



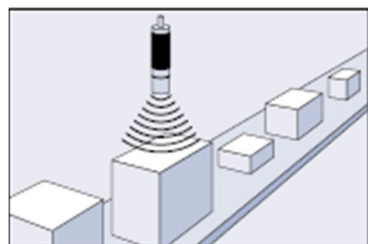
Đếm chai



Phát hiện giấy bị đứt



Phát hiện xe

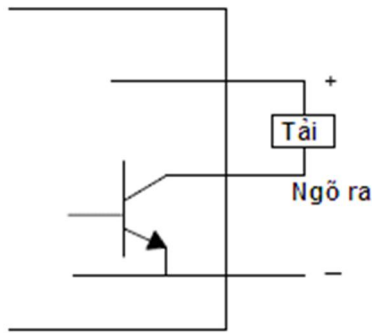


Phát hiện chiều cao

## 1.5. Cấu hình ngõ ra của cảm biến tiệm cận

### 1.5.1 Ngõ ra dạng transistor NPN và transistor PNP

Với điện áp DC thấp, cảm biến có 2 dạng cấu hình ngõ ra phổ biến là: kiểu NPN transistor và kiểu PNP transistor.



Hình 2.30: NPN transistor

Trường hợp cảm biến loại NPN:

Tải mắc giữa ngõ ra A của cảm biến và cực dương của nguồn điện.

### 1.5.2. Ngõ ra dạng Transistor FETs

Ngõ ra dạng khác là kiểu transistor FETs cung cấp sự đáp ứng nhanh, dòng tiêu hao rất nhỏ. Dòng điều khiển để thay đổi trạng thái chỉ cần cỡ  $30 \mu A$ , Nhưng nhìn chung thì giá thành cao hơn so với 2 loại trên

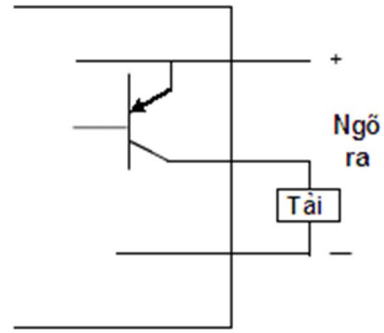
Có thể kết nối song song ngõ ra của FET như tiếp điểm cơ khí của relay (cả điện AC và DC).

Dạng FET công suất, tiếp điểm ngõ ra có thể chịu được dòng đến 500 mA

### 1.5.3. Ngõ ra dạng Triac

Cảm biến ngõ ra dạng Triac được thiết kế để có thể sử dụng như công tắc cho điện AC. Cảm biến dạng này cung cấp ngõ ra có thể chịu được dòng lớn, điện áp rơi thấp do đó thích hợp với việc kết nối với các contactor lớn.

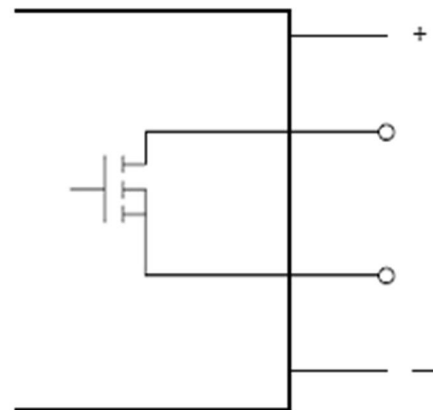
Dòng tiêu hao của nó lớn hơn so với FETs. Giá trị này vượt quá 1mA do đó nó không thích hợp để kết nối với các thiết bị như PLC.



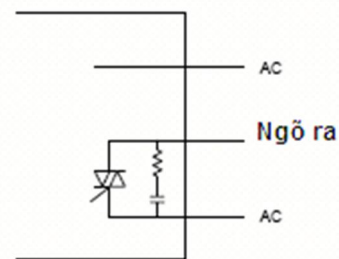
Hình 2.31: PNP transistor

Trường hợp cảm biến loại PNP:

Tải mắc giữa ngõ ra A của cảm biến và cực âm của nguồn điện.



Hình 2.32: Transistor FETs

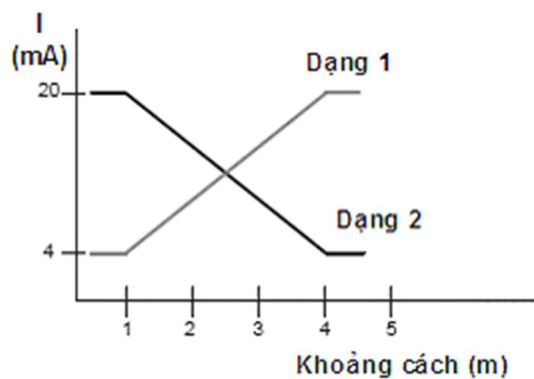


Hình 2.33: Triac



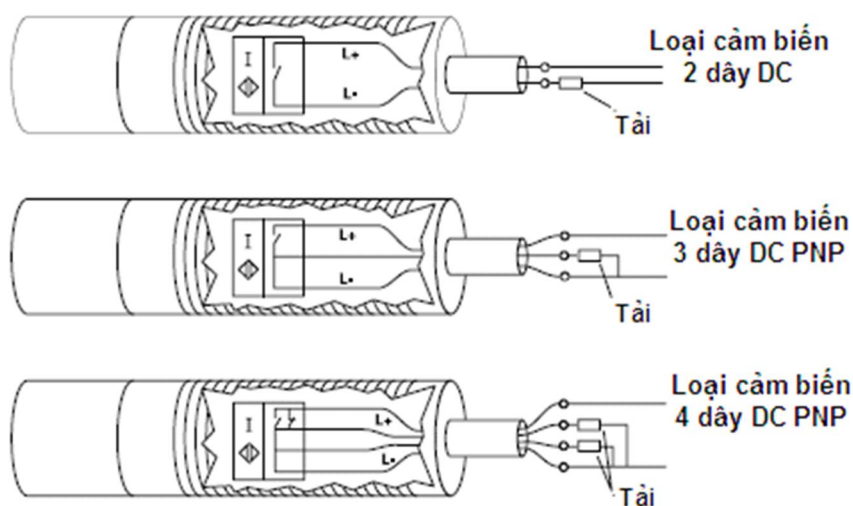
### 1.5.4. Ngõ ra dạng Analog

Cảm biến có thể cung cấp tín hiệu ngõ ra dưới dạng dòng và áp tương ứng (hay nghịch đảo sự tương ứng) với sự phát hiện.



Hình 2.34:

- Trạng thái ngõ ra của cảm biến có thể là thường đóng (NO) hoặc thường mở (NC). Ví dụ cảm biến loại PNP, trạng thái ngõ ra là Off khi không có đối tượng xuất hiện thì nó là thiết bị loại thường mở. Ngược lại trạng thái ngõ ra là On khi không có đối tượng xuất hiện thì nó là loại thường đóng.
- Ngoài loại 3 dây, cảm biến còn có loại 4 dây và loại 2 dây. Với loại 4 dây, trong 1 cảm biến có cả 2 loại ngõ ra: thường đóng và thường mở.



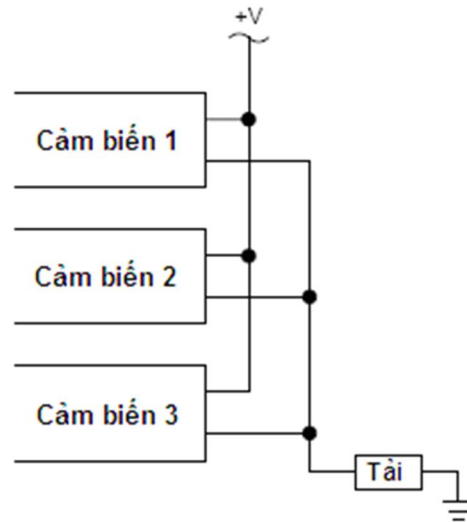
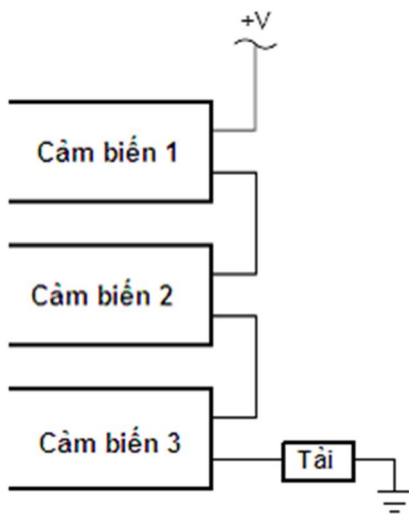
Hình 2.35

### 1.6. Cách kết nối các cảm biến tiệm cận với nhau

▪ Trong một số ứng dụng đòi hỏi phải sử dụng nhiều hơn 1 cảm biến. Các cảm biến có thể nối song song hoặc mắc nối tiếp. Khi mắc nối tiếp, ngõ ra lên On khi tất cả các cảm biến đều lên On. Còn khi mắc nối tiếp, chỉ cần 1 trong số các cảm biến lên On thì ngõ ra lên On.

- **Loại 2 dây**



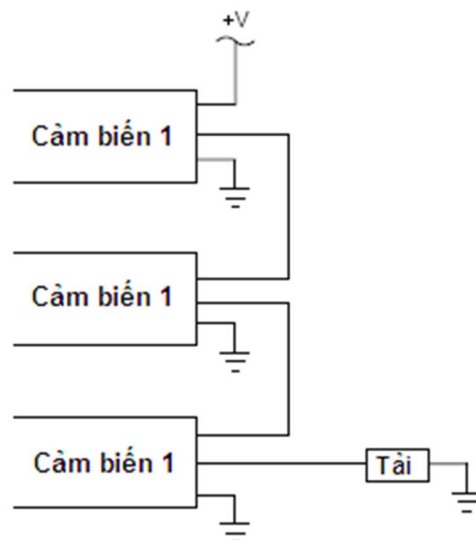
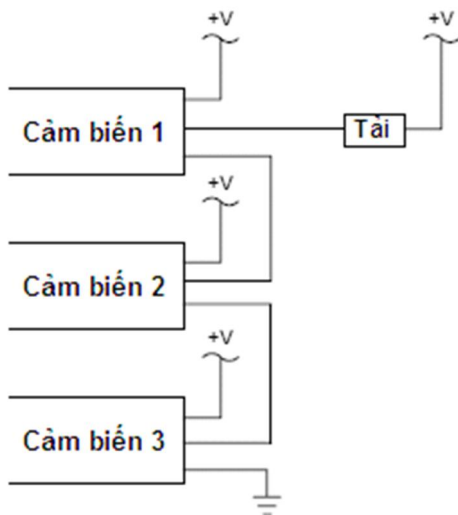
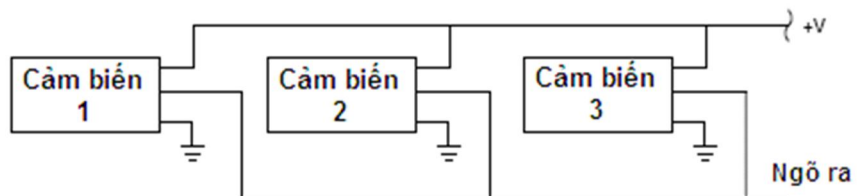


Cách kết nối nối tiếp cảm biến loại 2 dây

Cách kết nối song song cảm biến loại 2 dây

- **Loại 3 dây NPN và PNP**

Cách kết nối song song cảm biến loại 3 dây NPN



Cách kết nối nối tiếp cảm biến loại 3 dây NPN

Cách kết nối nối tiếp cảm biến loại 3 dây PNP

## 2. Một số loại cảm biến xác định vị trí, khoảng cách khác

Mục tiêu: *Nắm được cấu trúc, đặc tính của các loại biến trở đo khoảng cách, cảm biến điện cảm và cảm biến điện dung.*

### 2.1. Xác định vị trí và khoảng cách bằng biến trở

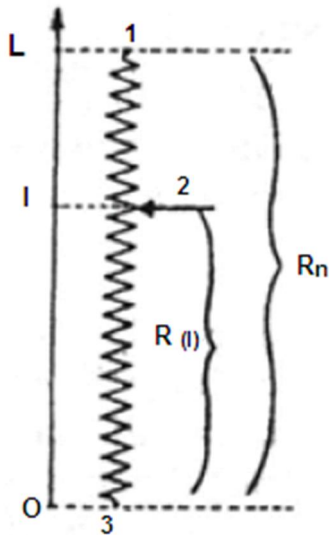
#### 2.1.1. Cấu trúc

Gồm một điện trở cố định  $R_n$  và một tiếp xúc điện có thể di chuyển gắn với chuyển động cần đo gọi là con chạy. Vị trí con chạy tỷ lệ với giá trị điện trở tại đầu ra của tiếp xúc điểm.

Căn cứ vào hình dạng của  $R_n$  và dạng chuyển động của con chạy người ta chia ra 2 loại:

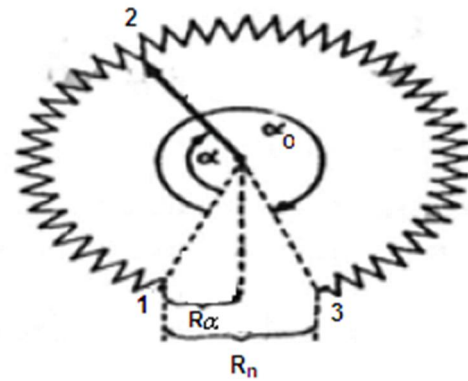
Dịch chuyển thẳng

$$R(l) = R_n \frac{l}{L}$$



Dịch chuyển quay

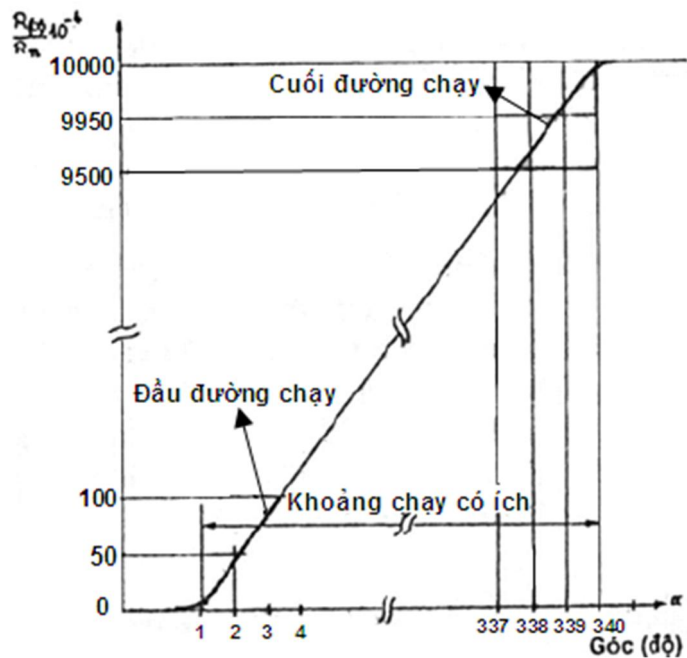
$$R_\alpha = R_n \frac{\alpha}{\alpha_0}$$



Hình 2.36

### 2.1.2. Đặc tính

- + Độ phân giải: thông thường đạt cỡ 10  $\mu\text{m}$
- + Tuổi thọ của con chạy:  $10^6$  lần với dạng xoay và  $10^7 - 10^8$  với dạng dịch chuyển
- + Độ tuyến tính: giá trị của tỉ số  $R(x)/R_n$  ở hai đầu của điện trở không ổn định, do đó ở đầu đường chạy hoặc cuối đường chạy thì độ tuyến tính kém.



Hình 2.37

Hình 2.37: Sự thay đổi của tỉ số  $R(x)/R_n$  phụ thuộc vào vị trí con chạy

### 2.1.3. Các loại biến trở

Giá trị điện trở  $R_n$  từ 1k $\Omega$  đến 100k $\Omega$ , đôi khi lên đến hàng M $\Omega$ . Tùy từng trường hợp cụ thể độ chính xác của điện trở là 20%, 10% và đôi khi đạt tới 5%. Trên thực tế không cần đòi hỏi độ chính xác cao vì tín hiệu đo chỉ phụ thuộc vào tỉ số  $R(x)/R_n$ . Có nhiều loại biến trở, tùy theo từng ứng dụng mà người ta chọn loại biến trở thích hợp.

#### • Biến trở dây kim loại

Loại biến trở này có thể dùng với dòng điện khá cao. Nó có hệ số nhiệt độ thấp, ít tiếng ồn cho mạch điện tử và trị số điện trở không bị trôi theo thời gian và do ảnh hưởng của khí hậu. Nhược điểm là độ phân giải thấp.

#### • Biến trở với lớp polymer

Lớp điện trở được cấu tạo bởi một loại sơn hữu cơ trộn với muội than và bột graphit. Lớp điện tử loại này rất trơn phẳng, khó bị mài mòn. Tuy nhiên nó có hệ số nhiệt độ khá lớn (300...1000ppm/K). Do độ ổn định của nó so với biến trở dây kim loại ở nhiệt độ cao kém.

#### • Biến trở với oxit kim loại – thủy tinh (cermet)

Loại điện trở này được tôi ở nhiệt độ khá cao 800 ... 900 $^{\circ}\text{C}$ , cho nên rất cứng. Tuy nhiên bề mặt nhám, không thích hợp cho sự dịch chuyển con chạy nhiều lần. Biến trở loại này thích hợp cho việc chỉnh điện áp trong các mạch điện tử.

#### • Biến trở với màng mỏng kim loại.

Với phương pháp phun phủ hay phun bụi catot người ta có thể tạo một lớp kim loại thực phẳng trên một nền thủy tinh. Vật liệu có thể là hợp kim Ni/Cr hay oxit kim loại Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Màng mỏng kim loại có bề dày khoảng 1 μm.

Trong các loại biến trở trên chỉ có loại biến trở với lớp polymer là thích hợp hơn cả cho công việc định vị và tính khoảng cách. Với bề mặt trơn láng và ít bị mài mòn, loại biến trở này có thể chịu đựng được rất nhiều lần dịch chuyển của con chạy mà đặc tính kỹ thuật không bị thay đổi. Loại cảm biến này được dùng nhiều trong các lĩnh vực như: Kỹ thuật xe hơi, định vị trong một hệ thống đo đạc và ngay cả tính hệ số góc cho việc điều chỉnh động cơ bước, vì với cách này sự thay đổi góc được chuyển đổi vô nấc. Độ dày của lớp polymer khoảng từ 10 ... 20 μm và chịu đựng được nhiệt độ đến 150°C. Vật liệu chế tạo các con chạy là hợp kim của các kim loại quý như: Pd, Pt, Au và Ag. Với các hợp kim này sự hình thành các lớp dẫn điện kém do ảnh hưởng của khí hậu không xảy ra. Do vậy giữa con chạy và màng polymer luôn luôn có sự tiếp xúc điện rất tốt. Các lớp polymer này được chế tạo với phương pháp in lụa thật thận trọng trong điều kiện sạch không có bụi. Sau đó được làm cứng lại qua sự nung nóng ở nhiệt độ 150°C... đến 250°C. Lớp polymer có thể chịu đựng được 10<sup>7</sup> lần dịch chuyển của con chạy mà điện trở giữa con chạy và lớp polymer không hề gia tăng.

## 2.2. Xác định vị trí và khoảng cách bằng tự cảm

### 2.2.1. Cấu trúc, nguyên lý hoạt động của cảm biến tự cảm

Cấu trúc đơn giản của một cảm biến tự cảm dùng để đo khoảng cách, đo góc gồm một cuộn dây và một lõi sắt dịch chuyển.

- Nguyên lý hoạt động

Đại lượng vào làm thay đổi độ tự cảm và tổng trở của cảm biến cũng thay đổi theo.

Đường sức đi qua 3 vùng, trong sắt ( $l_{Fe}$ ,  $A_{Fe}$ ), trong không khí bên trong cuộn dây ( $l$ ,  $A$ ) và trong vùng bên ngoài cuộn dây ( $S_a$ ,  $l_a$ ).

$$L = \frac{N^2}{R_m}$$

Trong đó:

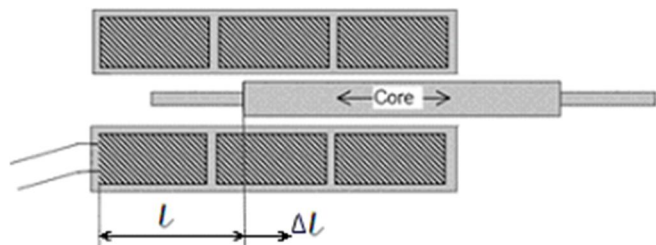
N: số vòng dây của cuộn dây.

$R_m$ : điện trở từ của cuộn dây.

Điện trở từ của cuộn dây với lõi sắt:

$$R_m = \frac{l_{Fe}}{\mu_0 \mu_r A_{Fe}} + \frac{l}{\mu_0 A} + \frac{l_a}{\mu_0 A_a}$$

Trong đó:



Hình 2.38:

+  $\mu_r$  của sắt rất lớn (khoảng  $10^3$  đến  $10^4$ ) cho nên coi sự thay đổi của phần điện trở từ trong sắt khi lõi sắt di chuyển coi như không đáng kể.

+ Diện tích  $A_a$  trong không khí bên ngoài cuộn dây rất lớn hoặc có thể bọc cuộn dây bằng vỏ sắt mềm và hầu như tất cả các đường sức đều chạy vào dây với điện trở từ coi như rất nhỏ.

Do đó đặt  $R_0 = \frac{l_{Fe}}{\mu_0 \mu_r A_{Fe}} + \frac{l_a}{\mu_0 A_a}$  và bỏ qua  $R_0$

$$R_m = \frac{l}{\mu_0 A}$$

$$L = \frac{N^2}{R_m} = \frac{N^2 \mu_0 A}{l} = \frac{k}{l}$$

Như thế độ tự cảm càng lớn khi lõi sắt càng nằm sâu bên trong cuộn dây.

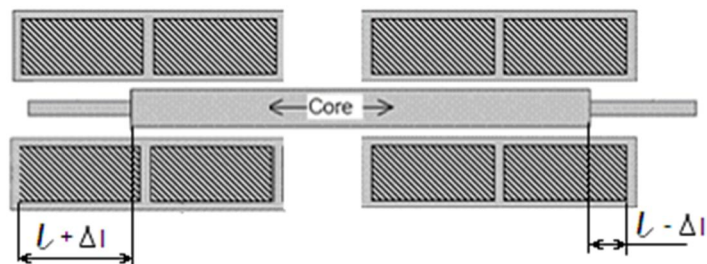
Khi lõi sắt được dịch chuyển từ vị trí  $l_0$  ra bên ngoài cuộn dây 1 đoạn  $\Delta l$  độ tự cảm giảm đi từ  $L_1 = \frac{k}{l}$  thành  $L_2 = \frac{k}{l + \Delta l}$

Vậy  $L$  phi tuyến theo  $l$ , để tính cả ảnh hưởng sự thay đổi của từ trở qua lõi sắt, và giảm bớt mức độ phi tuyến người ta dùng cấu trúc cảm biến lõi chìm vi sai.

### 2.2.2. Cảm biến tự cảm với lõi chìm vi sai

- **Cấu trúc:**

Gồm hai cuộn dây cách biệt, một lõi sắt được đặt bên trong hai cuộn dây. Khi lõi sắt được dịch chuyển, tự cảm của 1 cuộn dây giảm và cuộn khác dây tăng.



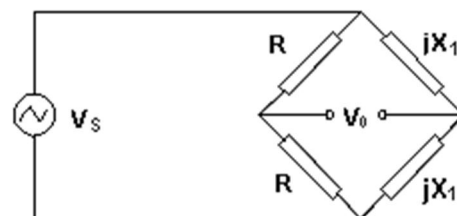
Hình: 2.39

Với cấu trúc đối xứng đồng trục, cảm biến này có thể dùng để đo khoảng cách. Với cấu trúc vành khăn và xoay, nó được dùng để đo góc.

Để đo khoảng cách, cả hai cuộn dây được đặt trong nửa cầu đo.

$$X_1 = \omega L_1 = \frac{\omega k}{(l + \Delta l)}$$

$$X_2 = \omega L_2 = \frac{\omega k}{(l - \Delta l)}$$



$$V_0 = V_s \left( \frac{jX_1}{j(X_1 + X_2)} - \frac{R}{2R} \right) = V_s \left( \frac{2X_1 - (X_1 + X_2)}{2(X_1 + X_2)} \right) = V_s \frac{(X_1 - X_2)}{2(X_1 + X_2)}$$

$$V_0 = \frac{V_s}{2} \frac{\frac{\omega k}{l + \Delta l} - \frac{\omega k}{l - \Delta l}}{\frac{\omega k}{l + \Delta l} + \frac{\omega k}{l - \Delta l}} = -\frac{V_s}{2l} \Delta l$$

Như vậy  $V_0$  tỉ lệ với  $\Delta l$ .

### 2.2.3. Cảm biến tự cảm để đo khoảng cách ngắn

Vòng từ trường được khép kín bởi 1 thanh đặt nằm ngang. Các đường sức của từ trường đi ngang qua 2 lần khoảng cách  $x$ , lõi di chuyển và ống dây.

Với  $A$  là diện tích mặt cắt ngang của lõi ta có điện trở từ.

$$R_m = R_G + R_A + R_C$$

$$R_m = \frac{2x}{\mu_0 A} + \frac{l_A}{\mu_0 \mu_r A} + \frac{l_C}{\mu_0 \mu_r A}$$

$$\text{đặt } R_0 = \frac{l_A}{\mu_0 \mu_r A} + \frac{l_C}{\mu_0 \mu_r A}$$

$$R_m = \frac{2x}{\mu_0 A} + R_0 = K \cdot x + R_0 \text{ với } K = \frac{2}{\mu_0 A}$$

$$L = \frac{N^2}{R_m} = \frac{N^2}{Kx + R_0} = \frac{N^2 / R_0}{x \cdot K / R_0 + 1} = \frac{L_0}{1 + \alpha x}$$

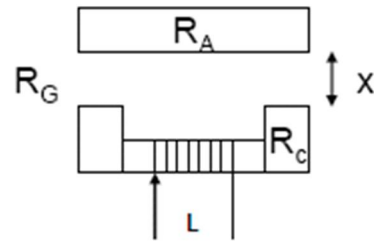
Như vậy  $L$  phi tuyến theo  $x$ .

- **Loại vi sai**

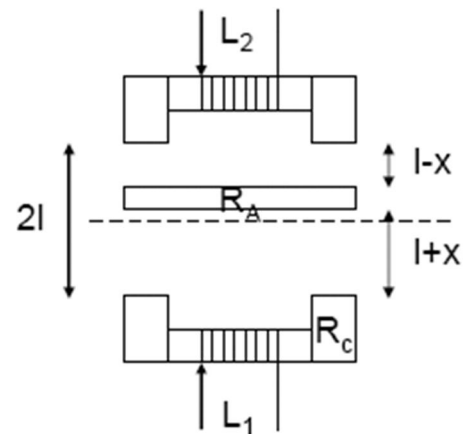
$$L_1 = \frac{L_{01}}{1 + \alpha(l - x)}$$

$$L_2 = \frac{L_{02}}{1 + \alpha(l + x)}$$

Với cách đo này độ nhạy tăng lên 2 lần và độ phi tuyến giảm đi đáng kể.



Hình 2.40: Cấu trúc cảm biến



Hình 2.41: Cấu trúc cảm

**2.3.Xác định vị trí và khoảng cách bằng cảm biến điện dung**

**2.3.1Nguyên lý hoạt động:**

Cảm biến điện dung dựa trên tác động tương hỗ giữa 2 điện cực tạo thành tụ điện. Điện dung của nó thay đổi dưới tác động của đại lượng vào.

Điện dung sẽ phụ thuộc vào tiết diện, khoảng cách 2 bản cực và điện môi giữa 2 bản cực  $C(x) = f(A,d, \epsilon)$ .

Với trường hợp đơn giản tụ điện phẳng:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{a}$$

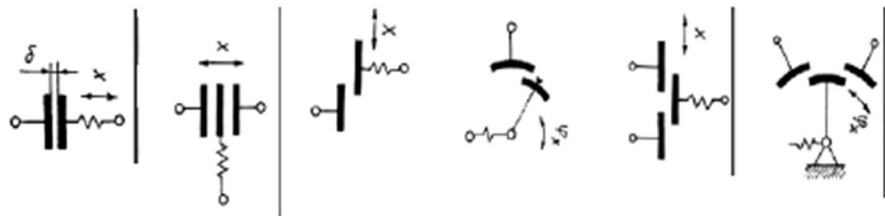
A: diện tích bản cực

a: khoảng cách giữa 2 bản cực.

$\epsilon_0$ : hằng số điện môi chân không.

( $\epsilon_0 = 8,85.10^{-12}$  F/m)

$\epsilon_r$ : hằng số điện môi.



Hình 2.42

Cảm biến được đặc trưng bởi độ nhạy:

+ Độ nhạy điện dung:  $S_c = \Delta C / \Delta x$

+ Độ nhạy điện kháng:  $S_z = \Delta Z / \Delta x$

**2.3.2. Sự thay đổi khoảng cách của hai bản cực**

Điện dung của tụ điện tỉ lệ nghịch với khoảng cách bản cực. Khi khoảng cách bé đi điện dung lớn hơn và ngược lại.

Xét tụ điện phẳng:

$$\text{Độ nhạy } S_c = \Delta C / \Delta x = dC/da = -\frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{a^2} = -\frac{C}{a}$$

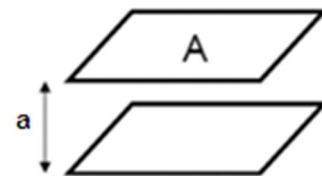
$$\rightarrow \frac{dC}{C} = -\frac{da}{a}$$

Như vậy sự thay đổi tương đối của điện dung tỉ lệ với sự thay đổi tương đối của khoảng cách.

Khi a tăng 1 khoảng  $\Delta a$ , điện dung giảm từ

$$C_0 = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{a_0} \text{ đến } C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{a_0 + \Delta a}.$$

Khi tụ điện nằm ở 1/4 cầu:



Hình 2.43

$$X_2 = \frac{-1}{\omega C} = \frac{-(a_0 + \Delta a)}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_r A} \quad X_1 = \frac{-1}{\omega C} = \frac{-a_0}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_r A}$$

Điện thế cầu chỉ tỉ lệ tuyến tính gần đúng với sự thay đổi khoảng cách bản cực:

$$U_c = \frac{U_0}{2} \frac{\Delta a}{2a_0 + \Delta a} \approx \frac{U_0}{4a_0} \Delta a$$

Sự không tuyến tính mất đi trong trường hợp với tụ vi sai (2 tụ điện với bản cực chung nằm ở giữa). Khi bản cực giữa di chuyển 1 đoạn  $\Delta a$ , điện dung 1 tụ giảm 1 tụ tăng.

$$X_1 = \frac{-1}{\omega C} = \frac{-(a_0 - \Delta a)}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_r A}$$

$$X_2 = \frac{-1}{\omega C} = \frac{-(a_0 + \Delta a)}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_r A}$$

Hai tụ này được đặt ở phân nửa cầu, ta có điện thế cầu tỉ lệ tuyến tính với sự thay đổi khoảng cách  $\Delta a$ .

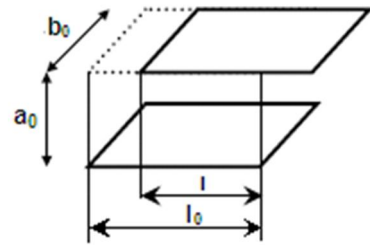
$$U_c = \frac{U_0}{2a_0} \Delta a$$

### 2.3.3. Sự thay đổi diện tích bản cực

Điện tích hiệu dụng bản cực của một tụ điện có thể thay đổi được khi bản cực nằm ở các vị trí chênh nhau.

Bản cực có chiều dài  $l_0$ , chiều rộng  $b_0$  và khoảng cách  $a_0$  ta có điện dung cực đại của tụ điện.

$$C_0 = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{b_0 l_0}{a_0}$$



Hình 2.44

Khi 2 bản cực chỉ đối diện nhau 1 chiều dài  $l$ , điện dung sẽ giảm đi từ  $C_0$  thành  $C$ :

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{b_0 l}{a_0} = \frac{C_0}{l_0} l$$

Như vậy điện dung  $C$  tỉ lệ với  $l$

### 2.3.5. Sự thay đổi kích thước điện môi

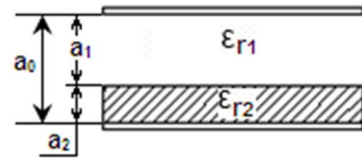
- Các lớp điện môi khác nhau



Tụ điện với 2 lớp điện môi  $\epsilon_{r1}$  và  $\epsilon_{r2}$  có độ dày  $a_1$  và  $a_2$ , hai lớp điện môi này lấp đầy khoảng trống giữa 2 điện cực với độ dày  $a_0 = a_1 + a_2$ . cấu trúc trên có thể coi như 2 tụ điện mắc nối tiếp nhau.

Điện dung C tương đương của 2 tụ điện được tính như sau:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{\epsilon_0 A} \left( \frac{a}{\epsilon_{r1}} + \frac{a_2}{\epsilon_{r2}} \right) \Rightarrow C = \frac{\epsilon_0 A}{\frac{a_1}{\epsilon_{r1}} + \frac{a_2}{\epsilon_{r2}}}$$



Hình 2.45

Nếu trị số điện môi  $\epsilon_{r1} = 1$  (không khí) điện dung C được tính như sau:

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{a_1 + \frac{a_2}{\epsilon_{r2}}} = \frac{\epsilon_0 A}{a_0 - a_2 + \frac{a_2}{\epsilon_{r2}}}$$

Như vậy trị số điện dung C tỉ lệ với hằng số điện môi và bề dày  $a_2$  của lớp điện môi thứ 2. nếu có được 1 trong 2 thông số này có thể tính được thông số còn lại thông qua việc đo giá trị điện dung. Phương pháp này được ứng dụng để đo bề dày mà không cần đụng chạm khi đã biết hằng số điện môi của đối tượng (các màng mỏng như giấy, nhựa...)

- **Điện môi nằm trong tụ điện với độ sâu khác nhau**

Điện dung tương đương của 2 tụ điện được tính như sau:

$$C = C_1 + C_2 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{r1} b (l_0 - l)}{a_0} + \frac{\epsilon_0 \epsilon_{r2} b_0 l}{a_0} = \frac{\epsilon_0 b_0}{a_0} [\epsilon_{r1} (l_0 - l) + \epsilon_{r2} l]$$

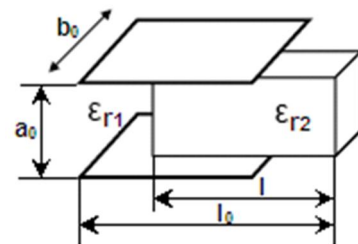
Với  $C_0 = \frac{\epsilon_0 b_0 l_0}{a_0}$  (điện dung của tụ điện khi toàn bộ điện môi là không khí,  $\epsilon_{r1} = 1$ ).

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{C - C_0}{C_0} = \frac{l_0 - l}{l_0} + \frac{\epsilon_{r2} l}{l_0} - 1 \Rightarrow \frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\epsilon_{r2} - 1}{l_0} l$$

Như vậy sự thay đổi tương đối  $\Delta C / C_0$  của tụ điện tỉ lệ với  $l / l_0$ .

- **Ứng dụng**

Phương pháp này dùng để đo mức vật liệu của chất lỏng không dẫn điện. Tụ điện với 2 bản cực được đặt bên trong môi trường cần kiểm soát. Điện dung đo được là thước đo cho mức vật liệu.



Hình 2.46

**Câu hỏi chương 2:**

1. Trình bày cấu trúc và nguyên lý cảm biến tiệm cận điện cảm.
2. Trình bày cấu trúc và nguyên lý cảm biến tiệm cận điện dung.
3. Trình bày cấu trúc và nguyên lý cảm biến tiệm cận siêu âm.

## CHƯƠNG 3: CẢM BIẾN ĐO LƯU LƯỢNG

### Mã chương: MH27 - 03

**Giới thiệu:** Cảm biến đo lưu lượng được sử dụng trong môi trường chất lỏng để đo đạc các thông số liên quan.

**Mục tiêu:**

- Trình bày được một số phương pháp cơ bản để xác định lưu lượng thường dùng trong lĩnh vực điện tử và đời sống.
- Ứng dụng được kỹ thuật cảm biến để đo lưu lượng.
- Rèn luyện tính cẩn thận, chính xác, logic khoa học, tác phong công nghiệp

**Nội dung chính:**

### 1. Đại cương

*Mục tiêu: Có khái niệm chung về đo lưu lượng và các đặc trưng của lưu chất*

Các cảm biến đo lưu lượng được sử dụng để đo cả chất lỏng và chất khí trong nhiều ứng dụng giám sát và điều khiển. Với chất lỏng, khối lượng riêng có thể coi là hằng số nên việc đo lưu lượng nhìn chung dễ thực hiện hơn. Một số kỹ thuật hoạt động với cả chất lỏng và chất khí, một số chỉ hoạt động với dạng lưu chất xác định. Việc đo lưu lượng thường bắt đầu bằng việc đo tốc độ dòng chảy.

#### 1.1. Khái niệm chung về đo lưu lượng

Một trong số các tham số quan trọng của quá trình công nghệ là lưu lượng các chất chảy qua ống dẫn. Muốn nâng cao chất lượng sản phẩm và hiệu quả của hệ thống điều khiển tự động các quá trình công nghệ cần phải đo chính xác thể tích và lưu lượng các chất.

Môi trường đo khác nhau được đặc trưng bằng tính chất lý hóa và các yêu cầu công nghệ, do đó ta có nhiều phương pháp đo dựa trên những nguyên lý khác nhau. Số lượng vật chất được xác định bằng khối lượng và thể tích của nó tương ứng với các đơn vị đo (kg, tấn) hay đơn vị thể tích ( $m^3$ , lít). Lưu lượng vật chất là số lượng chất ấy chảy qua tiết diện ngang của ống dẫn trong một đơn vị thời gian.

$$\text{Lưu lượng thể tích } Q_v = \frac{V}{t}$$

Đơn vị đo  $m^3/s$ ;  $m^3/giờ$ ... v v

$$\text{Lưu lượng khối } Q_m = \frac{m}{t}$$

Đơn vị đo  $kg/s$ ;  $kg/giờ$ ;  $tấn/giờ$ ... v v

Cần phân biệt sự khác nhau giữa lưu lượng tức thời và lưu lượng trung bình. Chẳng hạn lưu lượng thể tích: Lưu lượng trung bình  $Q_{tb} = V(\tau_1 - \tau_2)$ , lưu lượng tức thời:  $Q_v = dV/d\tau$  ( $V$  là thể tích vật chất đo được trong thời gian  $(\tau_1 - \tau_2)$ ),

Đối với chất khí, để kết quả đo không phụ thuộc vào điều kiện áp suất và nhiệt độ, ta qui đổi về điều kiện chuẩn (nhiệt độ 20<sup>0</sup>C, áp suất 760 mm thủy ngân).

Để thích ứng với các nhu cầu khác nhau trong công nghiệp, người ta đã phát triển rất nhiều phương pháp khác nhau để đo lưu lượng chất lỏng, hơi nước, khí...

### 1.1.2. Đặc trưng của lưu chất

Mỗi lưu chất được đặc trưng bởi những yếu tố sau:

- Khối lượng riêng
- Hệ số nhớt động lực
- Hệ số nhớt động học

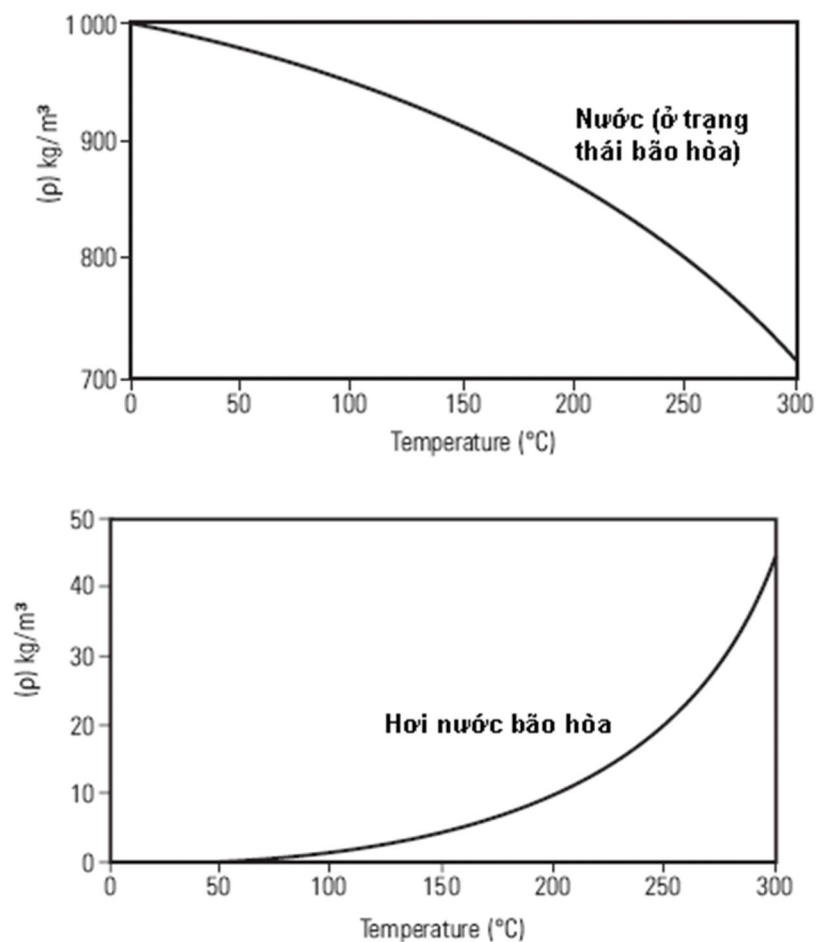
#### \*Khối lượng riêng:

Khối lượng riêng là khối lượng của 1 đơn vị thể tích lưu chất

$$\rho = \frac{m}{V} (\text{kg} / \text{m}^3)$$

m: khối lượng của khối lưu chất

V: thể tích của khối lưu chất



Hình 3.1: Khối lượng riêng của nước và hơi nước ở trạng thái bão hòa với các điều kiện nhiệt độ khác nhau

### \*Tính nhớt

Tính nhớt là tính chất chống lại sự dịch chuyển, nó biểu hiện sức dính phân tử hay khả năng lưu động của lưu chất. Đây là 1 tính chất quan trọng của lưu chất vì nó là nguyên nhân cơ bản gây ra sự tổn thất năng lượng khi lưu chất chuyển động. Khi lưu chất chuyển động, giữa chúng có sự chuyển động tương đối, nảy sinh ma sát tạo nên sự biến đổi 1 phần cơ năng thành nhiệt năng và mất đi. Tính nhớt được đặc trưng bởi hệ số nhớt động lực, hệ số này phụ thuộc vào loại lưu chất.

Có nhiều cách để đo độ nhớt, cách thức đơn giản thường được các phòng thí nghiệm ở các trường đại học sử dụng để chứng minh sự tồn tại độ nhớt và xác định giá trị là: Cho 1 quả cầu rơi trong chất lỏng dưới tác dụng của trọng lực. Đo khoảng cách (d) và thời gian (t) quả cầu rơi, tính vận tốc u.

- Hệ số nhớt động lực sẽ được tính theo phương trình sau:

$$\mu = \frac{2 \cdot \Delta\rho \cdot g \cdot r^2}{9 \cdot u}$$

$\mu$ : Hệ số nhớt động lực (Pa s)

$\Delta\rho$ : Sự khác nhau giữa khối lượng riêng quả cầu và chất lỏng ( $\text{kg/m}^3$ ).

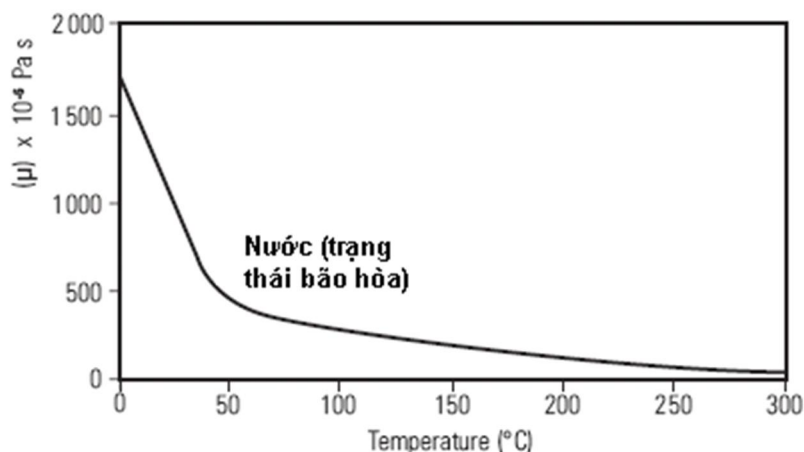
g: Gia tốc trọng trường  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

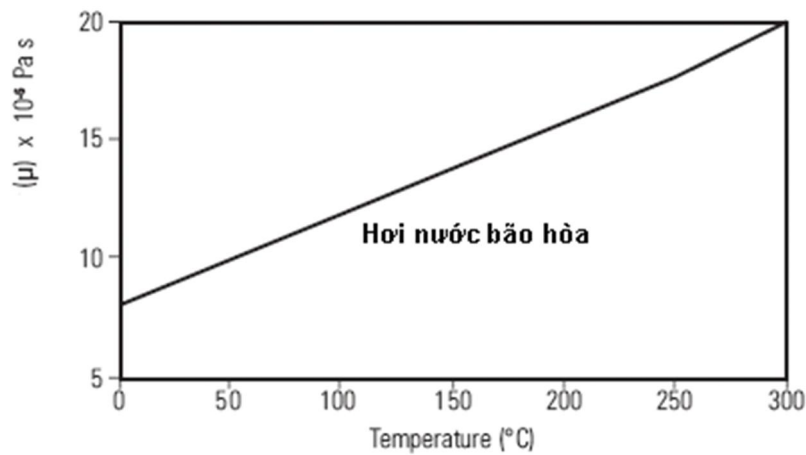
r: Bán kính quả cầu (m).

u: Vận tốc rơi của quả cầu  $u = d/t$  (m/s)

Đơn vị của hệ số nhớt động lực:

$\text{Pa s} = \text{Ns/m}^2 = 10^3 \text{ cP (centiPoise)} = 10 \text{ P (Poise)}$





Hình 3.2: Hệ số nhớt động lực của nước và hơi nước ở trạng thái bão hòa với các điều kiện nhiệt độ khác nhau

- Để nhấn mạnh mối quan hệ giữa tính nhớt và khối lượng riêng của lưu chất người ta đưa ra hệ số nhớt động học.

$$v = \frac{\mu \cdot 10^3}{\rho}$$

v: hệ số nhớt động học, đơn vị centistokes (cSt)

μ: Hệ số nhớt động lực.

ρ: Khối lượng riêng của lưu chất (kg/m<sup>3</sup>).

Đơn vị hệ số nhớt động học là cSt (centistokes), St (stokes), m<sup>2</sup>/s

$$1\text{St} = 100\text{cSt} = 1\text{cm}^2/\text{s} = 10^{-4}\text{m}^2/\text{s}$$

Độ nhớt phụ thuộc vào nhiệt độ và áp suất. Độ nhớt của chất lỏng tăng khi nhiệt giảm và khi áp suất tăng, đối với chất khí thì ngược lại.

### \*Trị số Reynold (Re)

Tất cả các yếu tố đã kể trên đều có ảnh hưởng tới dòng chảy của lưu chất trong ống dẫn, người ta kết hợp chúng với nhau tạo ra 1 đại lượng duy nhất thể hiện đặc trưng của lưu chất: Trị số Reynold:  $Re = \frac{\rho \cdot u \cdot D}{\mu}$

ρ: Khối lượng riêng của lưu chất (kg/m<sup>3</sup>)

D: Đường kính trong của ống dẫn lưu chất (m)

u: Vận tốc của lưu chất (m/s)

μ: Hệ số nhớt động lực (Pa s)

### 1.1.3. Hiệu chuẩn khối lượng riêng

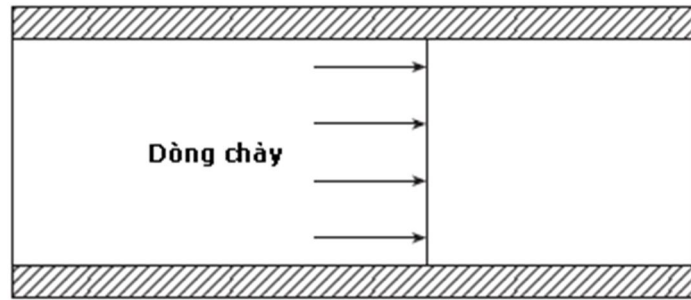
Khối lượng riêng của chất lỏng, chất khí trong môi trường đo ảnh hưởng đến phép đo lưu lượng. Thực chất khối lượng riêng thường không là một hằng số.

+ Khối lượng riêng của chất lỏng tùy thuộc vào nhiệt độ. Trường hợp này để hiệu chuẩn khối lượng riêng ta chỉ cần đo nhiệt độ.

+ Khí thường là một hỗn hợp gồm nhiều thành phần. Khối lượng riêng của nó lệ thuộc vào áp suất và nhiệt độ. Để hiệu chỉnh sai số cần đo cả hai đại lượng này (lấy chuẩn là khối lượng riêng ở điều kiện  $0^{\circ}\text{C}$ , áp suất khí quyển).

#### 1.1.4. Trạng thái dòng chảy

Nếu bỏ đi ảnh hưởng của độ nhớt và sự ma sát với thành ống dẫn thì vận tốc dòng chảy sẽ như nhau ở mọi vị trí trên mặt cắt ngang của ống dẫn (xem hình 3.3).



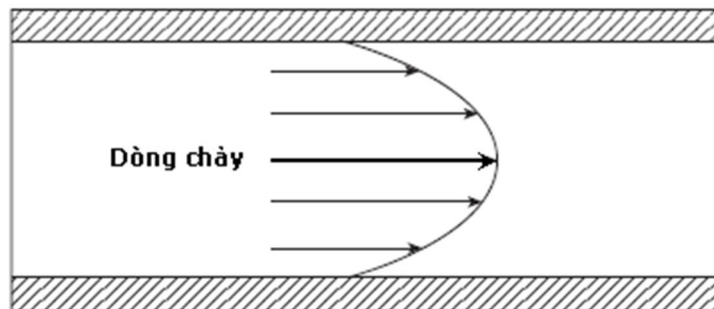
Hình 3.3: Vận tốc dòng chảy (trường hợp lý tưởng)

Tuy nhiên đó chỉ là trường hợp lý tưởng, trong thực tế độ nhớt ảnh hưởng đến tốc độ của dòng chảy, cùng với sự ma sát của ống dẫn làm giảm vận tốc của lưu chất ở vị trí gần thành ống (hình 3.4).



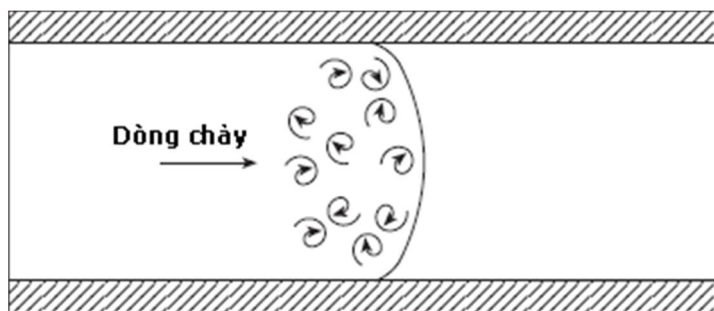
Hình 3.4: Vận tốc dòng chảy với ảnh hưởng của tính nhớt và lực ma sát

Với trị số Reynold nhỏ ( $Re \leq 2300$ ), chất chuyển động thành “lớp” (chảy tầng). Tất cả các chuyển động xuất hiện theo dọc trục của ống dẫn. Dưới ảnh hưởng của tính nhớt và lực ma sát với thành ống dẫn, tốc độ lưu chất lớn nhất ở vị trí trung tâm ống dẫn (hình 3.5).



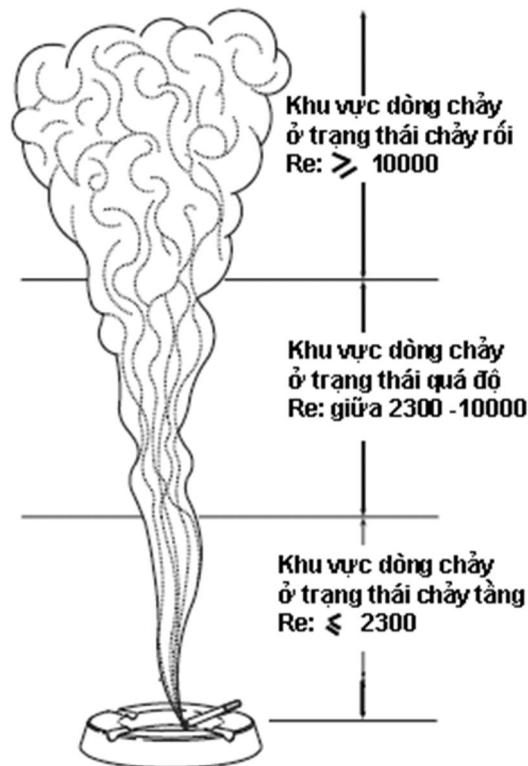
Hình 3.5:

Khi tốc độ tăng và trị số  $Re$  vượt quá 2300, dòng chảy tăng dần hỗn loạn với càng lúc càng nhiều các dòng xoáy (trạng thái quá độ). Với  $Re$  từ 10.000 trở lên, dòng chảy hoàn toàn hỗn loạn (trạng thái chảy rối).



Hình 3.6

Các khí (ở trạng thái bão hòa) và hầu hết các chất lỏng thường được vận chuyển bằng ống dẫn ở trạng thái dòng chảy rối.



Hình 3.7: Trị số Reynold

## 2. Phương pháp đo lưu lượng dựa trên nguyên tắc sự chênh lệch áp suất

*Mục tiêu: Nắm được phương pháp đo lưu lượng dựa trên nguyên tắc chênh lệch áp suất và ưu nhược điểm của phương pháp.*

Để dùng cảm biến áp suất đo lưu lượng, người ta đo sự chênh lệch áp suất (hiệu áp) giữa 2 vị trí ống có tiết diện dòng chảy khác nhau. Các lưu lượng kế đo dựa trên hiệu áp (differential pressure flowmeter) được sử dụng rất phổ biến, đặc biệt là dùng với các chất lỏng. Các thiết bị này cũng như hầu hết các lưu lượng kế khác gồm hai thành phần cơ bản.

Thành phần 1: là nguyên nhân gây nên sự thay đổi trong năng lượng động học, tạo nên sự thay đổi áp suất trong ống. Thành phần này phải phù hợp với kích thước của đường ống, điều kiện dòng chảy, tính chất của lưu chất.

Thành phần thứ 2: đo sự chênh lệch áp và tín hiệu đầu ra được chuyển đổi thành giá trị lưu lượng.

### 2.1. Định nghĩa áp suất

Áp suất là lực tác dụng trên một đơn vị diện tích

$$p = \frac{dF}{dS}$$

p: áp suất

A: diện tích

F: lực



Để đo áp suất người ta sử dụng một nguyên tắc giống nhau, áp suất được cho tác dụng lên một bề mặt xác định, như thế áp suất được biến thành lực. Việc đo áp suất được đưa về đo lực. Tất cả các lực tác dụng lên một mặt phẳng xác định là thước đo áp suất.

$$p = \frac{F}{S}$$

### Đơn vị áp suất

Ủy ban quốc tế cho việc đo đạc với luật định đã chọn Pascal (Pa) = N/m<sup>2</sup> là đơn vị áp suất (ISO 1000, DIN 1301). Việc phân chia thang đo của máy đo áp suất được dùng với bội số của đơn vị Pa.

$$1 \text{ mbar} = 10^2 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

Những đơn vị cũ dùng phổ biến trước đây:

$$1 \text{ mmHg} = 1,0000 \text{ Torr}$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ Torr (atm đơn vị áp suất khí quyển vật lý)}$$

$$1 \text{ Torr} = 1,333224 \cdot 10^2 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ kp/cm}^2 = 0,980665 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ at} = 1 \text{ kp/cm}^2 = 0,980665 \cdot 10^5 \text{ Pa (at đơn vị áp suất khí quyển kỹ thuật)}$$

$$1 \text{ mm nước} = 9,80665 \text{ Pa}$$

Ngoài ra ở các nước Anh, Mỹ người ta còn dùng các đơn vị áp suất sau:

$$1 \text{ pound-force/ square yard (Lb/yd}^2) = 5,425 \cdot 10^{-5} \text{ at}$$

$$1 \text{ pound-force/ square foot (Lb/ft}^2) = 4,883 \cdot 10^{-4} \text{ at}$$

$$1 \text{ pound-force/ square inch (Lb/in}^2 = \text{psi)} = 7,031 \cdot 10^{-2} \text{ at}$$

$$= 3,052 \cdot 10^{-5} \text{ at}$$

$$1 \text{ ounce/ square foot (oz/ft}^2) = 4,394 \cdot 10^{-3} \text{ at}$$

$$1 \text{ ounce/ square inch (oz/in}^2) = 2,540 \cdot 10^{-3} \text{ at}$$

$$1 \text{ Ton/ square foot (Ton/ft}^2) = 2,40 \cdot 10^{-3} \text{ at}$$

$$1 \text{ inch of water (trong nước)} = 3,455 \cdot 10^{-2} \text{ at}$$

$$1 \text{ inch of mecuri (trong thủy ngân)}$$

## 2.2. Bộ phận tạo nên sự chênh lệch áp suất

Dù hiện nay đã có nhiều phương pháp đo lưu lượng được phát triển, phương pháp đo lưu lượng bằng ống co vẫn được ứng dụng rất rộng rãi trong công nghiệp và các lãnh vực khác. Ống co dùng để tạo sự chênh lệch áp suất (giữa vị trí ống chưa co và ống co) nên ống co phải là những linh kiện cơ học rất bền bỉ, cấu trúc đơn giản và không có các phần tử di động để chịu được những điều kiện vô cùng khắc nghiệt trong công nghiệp. Phương pháp đo sử dụng Pitot tube cũng dựa trên sự chênh lệch áp suất nhưng không tạo sự “co” trực tiếp trên dòng chảy.

### 2.2.1. Ống co Venturi

\*Nguyên tắc

Phương pháp đo lưu lượng bằng ống co dựa trên định luật liên tục và phương trình năng lượng của Bernoulli.

Phương trình liên tục:

$$A_1 u_1 \rho = A_2 u_2 \rho$$

Phương trình Bernoulli:

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot h_1 + \frac{\rho}{2} u_1^2 = p_2 + \rho \cdot g \cdot h_2 + \frac{\rho}{2} u_2^2$$

Áp dụng cho trường ống co venturi:

$$p_1 + \frac{\rho}{2} u_1^2 = p_2 + \frac{\rho}{2} u_2^2$$

Trong đó:

$A_1$ : Diện tích trước co.

$p_1$ : Áp suất tĩnh trước vị trí co

$A_2$ : Diện tích ở vị trí co.

$p_2$ : Áp suất tĩnh ở vị trí co

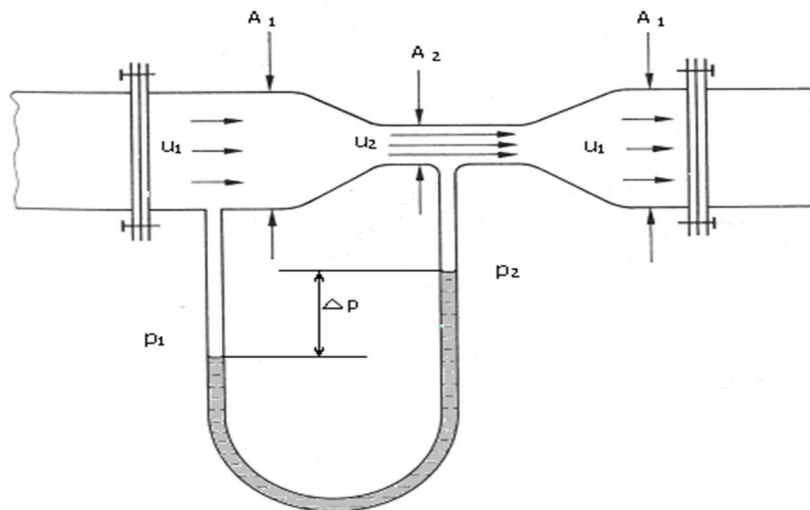
$u_1$ : Vận tốc trước vị trí co

$\rho$ : Khối lượng riêng.

$u_2$ : Vận tốc ở vị trí co

$h_1$ : Độ cao vị trí ở vị trí trước co

$h_2$ : Độ cao vị trí ở vị trí sau co



Hình 3.8

Ở nơi diện tích ống bị thu nhỏ, vận tốc dòng chảy gia tăng. Với phương trình năng lượng của Bernoulli, năng lượng của dòng chảy là tổng năng lượng áp suất tĩnh và động năng (vận tốc) là một hằng số.

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2} (u_2^2 - u_1^2)$$

Giải phương trình trên theo  $v_2$ :

$$u_2^2 = \frac{2}{\rho} (p_1 - p_2) + u_1^2 = \frac{2}{\rho} (p_1 - p_2) + \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 u_2^2$$

Đặt  $\alpha = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}}$  là hằng số dòng chảy

Ta có  $u_2 = \alpha \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{p_1 - p_2}$

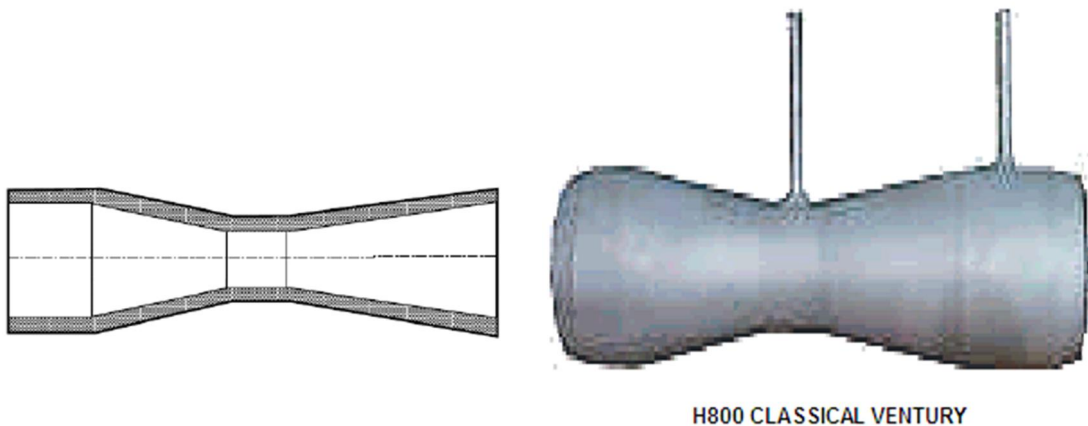
Từ đó ta có lưu lượng tính theo thể tích và khối lượng như sau:

$$Q_V = A_2 u_2 = \alpha \cdot A_2 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{p_1 - p_2} = \alpha \cdot k \cdot \sqrt{\Delta p}$$

$$Q_m = A_2 u_2 \cdot \rho = \alpha \cdot A_2 \cdot \sqrt{2\rho} \cdot \sqrt{p_1 - p_2} = \alpha \cdot k' \cdot \sqrt{\Delta p}$$

Như thế lưu lượng tỉ lệ với căn số bậc hai của hiệu áp khi khối lượng riêng là hằng số.

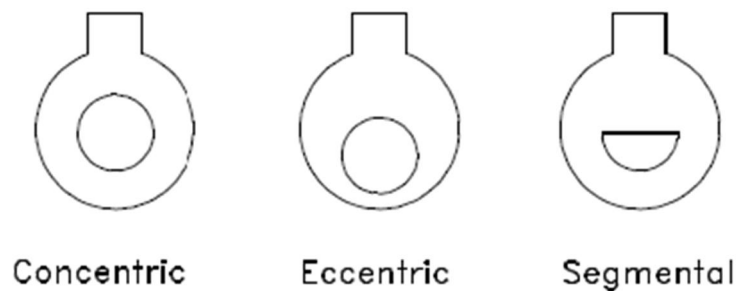
Hình ảnh thực tế loại ống co Venturi H800 do hãng Tetrattec Instruments sản xuất.



Hình 3.9

### 2.2.2. Orifice plate

Orifice plate là một trong những cách thức đơn giản nhất (và cũng kinh tế nhất) để tác động đến dòng chảy, để từ đó có thể tính được lưu lượng.



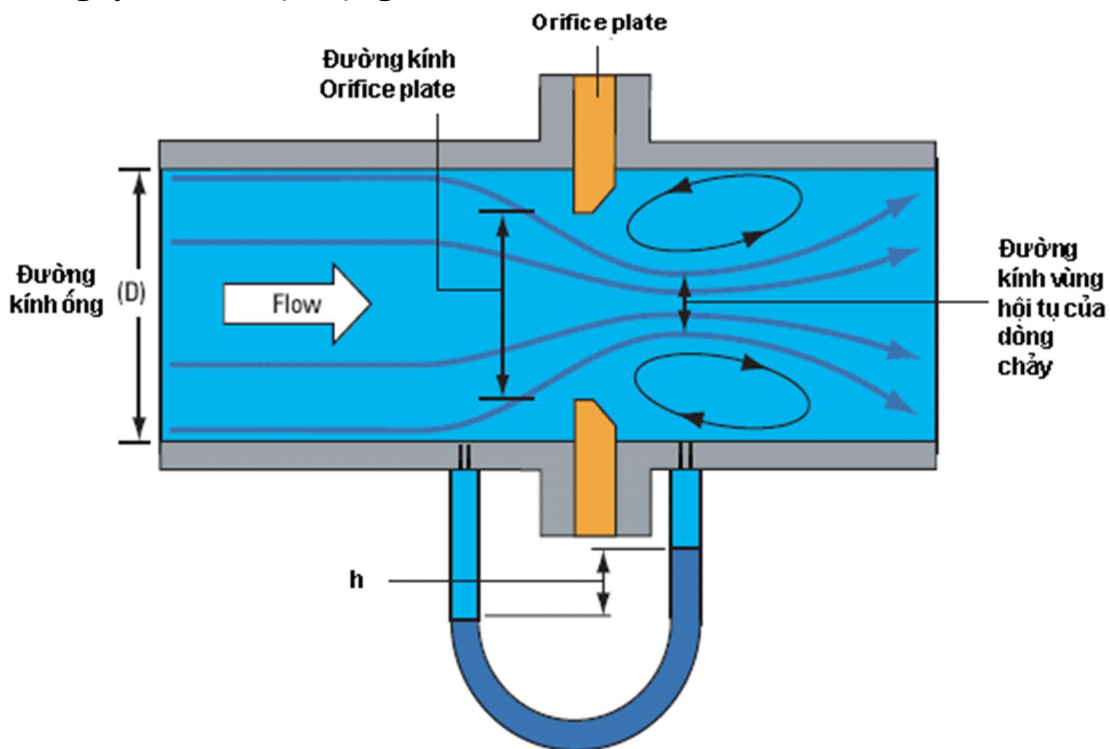
Hình 3.10: Các dạng ống co Orifice plate

Orifice plate dày khoảng 1/16 đến đến ¼ inch. Có 3 loại Orifice plate: concentric (đồng tâm), eccentric (lệch tâm), segmental (hình cung) (như hình trên).

Trong 3 loại, loại concentric được sử dụng nhiều nhất. Khi lưu chất đi qua Orifice plate, dòng chảy “hội tụ”, tốc độ lưu chất tăng lên mức tối đa. Tại điểm này, áp suất là nhỏ nhất. Khi dòng chảy phân kì, tốc độ lưu chất giảm trở lại mức ban đầu.

Hai loại Eccentric và Segmental cũng có chức năng hoàn toàn toàn giống như Concentric. Thiết bị được lắp đặt đồng tâm với ống dẫn lưu chất (ống dẫn đặt nằm ngang), với loại Segmental, vị trí phần cung tròn (phần đã được cắt) phụ thuộc vào dạng chất lỏng có thể ở trên hoặc ở dưới nhằm mục đích ngăn chặn các vật lạ từ trong dòng chảy. Kết quả đạt được là phép đo tăng mức độ chính xác. Loại eccentric cũng được thiết kế với cùng mục đích trên.

**\*Nguyên tắc hoạt động**



Hình: 3.11

Nguyên tắc đo lưu lượng khi sử dụng Orifice plate cũng dựa trên phương trình Bernoulli.

$$v = \sqrt{2gh}$$

$$Q_v = A.v = A.\sqrt{2gh}$$

Trong thực tế giá trị vận tốc thực sự sẽ nhỏ hơn giá trị vận tốc trên lý thuyết (do ma sát). Sự khác biệt này được điều chỉnh với hệ số  $C_v$ .

$$C_v = \text{vận tốc thực tế} / \text{vận tốc lý thuyết}.$$

Bên cạnh đó diện tích dòng chảy hội tụ sẽ nhỏ hơn diện tích của Orifice plate, điều này tiếp tục được điều chỉnh với hệ số  $C_c$ .

$C_C$  = diện tích vùng hội tụ / diện tích Orifice plate

Hai hệ số  $C_V$ ,  $C_C$  kết hợp với nhau có được hệ số điều chỉnh C.

$$Q_v = C \cdot A \cdot \sqrt{2gh}$$

$Q_v$ : Lưu lượng  $m^3/s$

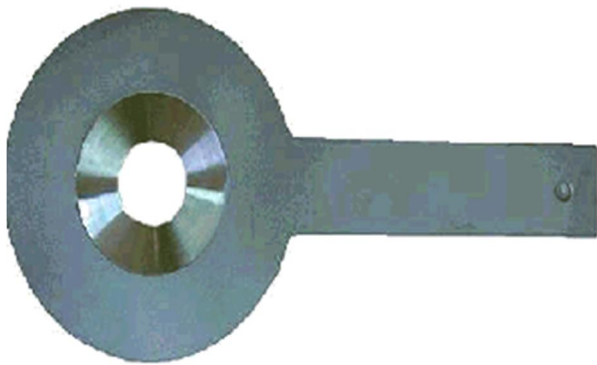
A: Hệ số điều chỉnh.

A: Diện tích Orifice plate.

h: Sự chênh lệch về áp suất (m)

g: Gia tốc trọng trường ( $9,8 m^2/s$ )

Hệ số C (được định nghĩa theo tiêu chuẩn ISO 5167 – 2003) có thể tra các giá trị dựa vào dựa vào tiêu chuẩn ISO 5167.

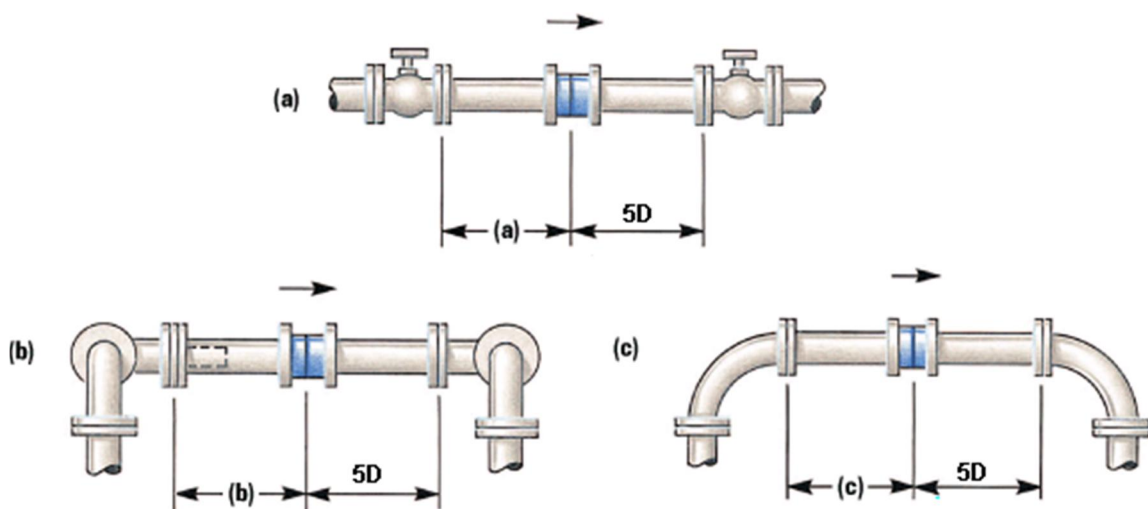


Hình 3.12: Loại Orifice Plate BLS 100 của Tetrtec Instruments



Hình 3.13: Loại Orifice plate tiêu chuẩn BLB300 của Tetrtec Instruments

**\*Yêu cầu lắp đặt (theo tiêu chuẩn ISO 5167)**



Hình 3.14

Cần có các đoạn ống dẫn lưu chất không cong, thẳng ở vị trí trước và sau vị trí lắp đặt Orifice Plate. Độ dài tối thiểu của các đoạn ống này phải đạt mức:

+ Ở vị trí sau Orifice Plate (cuối nguồn): 5 lần đường kính ống dẫn lưu chất.

+ Ở vị trí trước Orifice Plate (đầu nguồn): Phụ thuộc vào tỉ số  $\beta$  và cách lắp đặt.

$$\beta = \frac{d}{D}$$

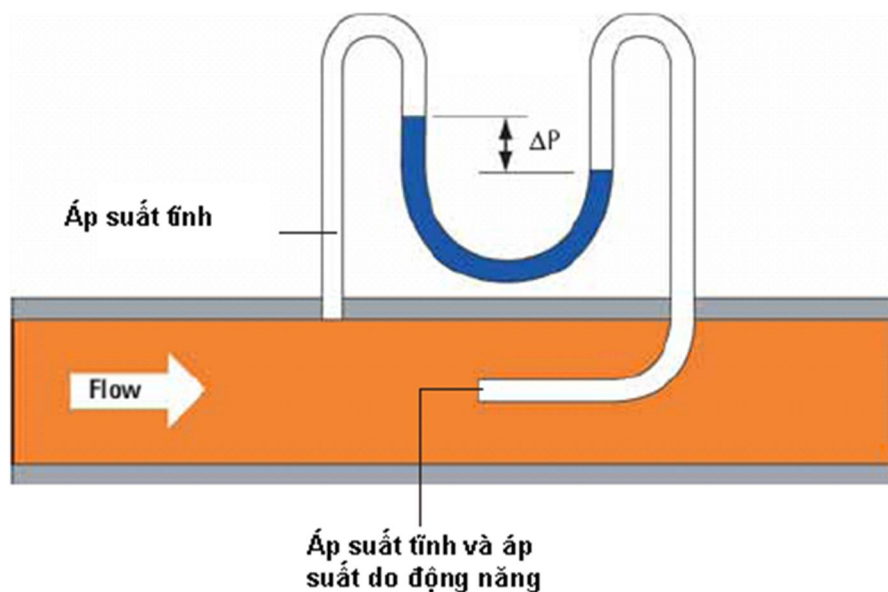
d: đường kính của Orifice Plate (đường kính miệng vòi của Orifice Plate).

D: đường kính ống dẫn lưu chất.

Căn cứ vào giá trị  $\beta$  và cách lắp đặt (xem hình) mà sử dụng 1 trong các hệ số a, b, c. Tính được độ dài tối thiểu cần thiết = hệ số \* D.

Hệ số	$\beta$						
	<0,32	0,45	0,55	0,63	0,70	0,77	0,84
A	18	20	23	27	32	40	49
B	15	18	22	28	36	46	57
C	10	13	16	22	29	44	56

### 2.2.3. Pitot tube



Hình 3.15: Lược đồ Pitot tube

#### \*Nguyên tắc hoạt động

$$p_1 + \frac{\rho}{2} v_1^2 = p_2 + \frac{\rho}{2} v_2^2$$

$p_1$ : Áp suất tĩnh trong dòng chảy của lưu chất ống dẫn.

$p_2$ : Áp suất tĩnh trong Pitot tube.

$v_1$ : Vận tốc dòng chảy.

$v_2$ : Vận tốc dòng chảy ở vị trí ứ đọng (bằng 0).

$\rho$ : Khối lượng riêng của lưu chất.

Do  $v_2=0$

$$p_1 + \frac{\rho}{2} v_1^2 = p_2$$

$$\Delta p = p_2 - p_1 = \frac{\rho}{2} v_1^2$$

Giải phương trình trên theo  $v_1$

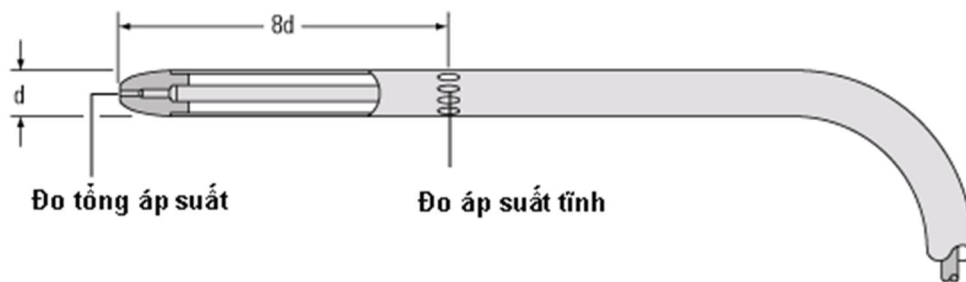
$$v_1^2 = \frac{2 \cdot \Delta p}{\rho} \Rightarrow v_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}$$

Từ đó ta có lưu lượng tính theo thể tích và khối lượng như sau:

$$Q_v = A \cdot v_1 = A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}$$

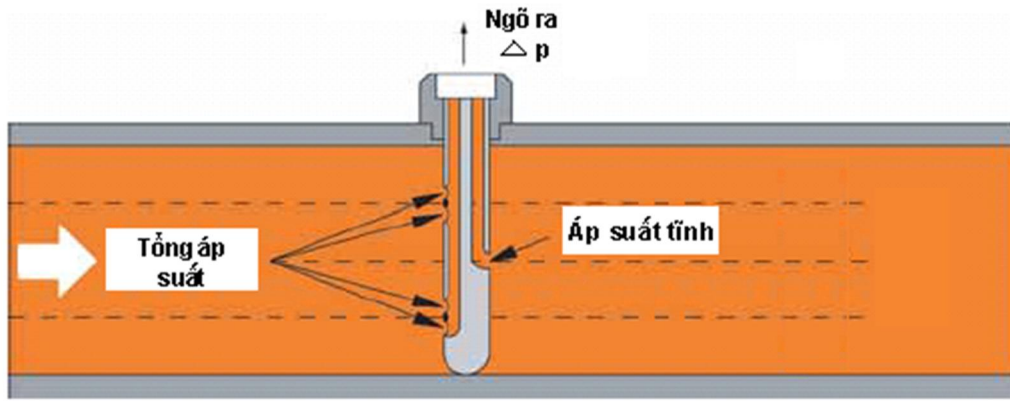
Trong thực tế, Pitot tube có thể được tích hợp trong cùng 1 khối, bộ phận đo tổng áp suất tĩnh và động năng với bộ phận đo áp suất tĩnh được đặt trong cùng một thiết bị.

Do dạng đơn giản của pitot tube chỉ đo tại 1 điểm, mà giá trị của vận tốc dòng chảy tại những vị trí khác nhau là không giống nhau (trên mặt cắt ngang của dòng chảy). Do đó vị trí đo mang tính chất quyết định.



Hình 3.16: Dạng đơn giản của Pitot tube

Để khắc phục đặc điểm vận tốc dòng chảy khác nhau, dạng pitot tube trung bình được sử dụng. Động năng của dòng chảy được đo ở các vị trí khác nhau, kết quả lấy giá trị trung bình.



Hình 3.17: Pitot tube trung bình

#### 2.2.4. Sự chính xác của phép đo

Khi diện tích cắt ngang của dòng chảy và khối lượng riêng của lưu chất coi như cố định, trong phương trình

$$Q_v = \text{hệ số} \cdot \sqrt{\Delta p}$$

Hiệu áp  $\Delta p$  tỉ lệ với bình phương với lưu lượng  $Q_v$ , do đó khi  $Q_v = 30\%$  thang đo thì  $\Delta p = 9\%$  thang đo.

Hiệu áp càng thấp, sai số tương đối càng lớn. Khi  $\Delta p = 9\%$  thang đo, sai số tương đối lúc này lớn gấp 11 lần sai số ở cuối thang đo.

Do đó chỉ nên thực hiện việc đo lưu lượng bằng ống co từ 30% đến 100% thang đo.

### 2.3. Bộ phận đo sự chênh lệch áp suất

Bộ phận đo sự chênh lệch áp suất này được thiết kế đo áp suất dựa trên các nguyên tắc:

- Chuyển đổi áp suất kiểu điện dung
- Chuyển đổi áp suất kiểu biến áp vi sai
- Chuyển đổi áp suất kiểu điện trở áp điện
- Chuyển đổi áp suất kiểu áp điện
- Chuyển đổi áp suất kiểu màng sọc co giãn...vv

#### 2.3.1. Cảm biến áp suất loại điện trở áp điện

Cảm biến áp suất loại điện trở áp điện thay đổi điện trở tương ứng với biến dạng trên bản thân nó.

- + Cảm biến biến dạng áp điện trở kim loại
- + Cảm biến biến dạng áp điện trở bán dẫn

##### \*Các thông số cơ bản:

- + Độ dài biến dạng: tỉ số của sự thay đổi kích thước với chiều dài ban đầu

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

Đơn vị là Strain và thường sử dụng microstrain



+ Hệ số biến dạng: tỉ số thay đổi điện trở với thay đổi chiều dài.

$$GF = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta l}{l}} = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon}$$

Hệ số GF của kim loại: 2, bán dẫn: 80 – 120

**\*Nguyên lý đo sử dụng cảm biến biến dạng áp điện trở.**

Các phép đo biến dạng ít khi có giá trị lớn hơn vài millistrain ( $\varepsilon \cdot 10^{-3}$ )

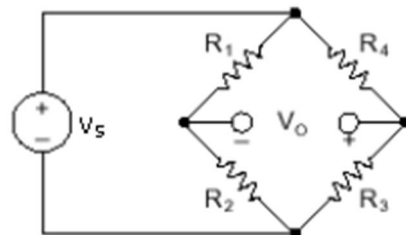
Ví dụ: Cơ cấu chịu lực biến dạng  $500\mu\varepsilon$ . Hệ số biến dạng  $GF = 2$ .

Giá trị thay đổi điện trở:  $\Delta R/R = GF \cdot 500 \cdot 10^{-3} = 0.001$

Để đo sự thay đổi nhỏ giá trị điện trở, các cảm biến biến dạng áp điện trở sử dụng mạch cầu.

$$V_o = \left( \frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) V_s$$

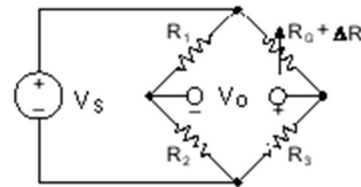
Khi  $R_1/R_2 = R_3/R_4$  thì điện áp ra bằng 0. Nếu thay thế R4 bằng cảm biến thì khi có lực tác dụng lên, điện áp ra sẽ thay đổi



Hình dạng mạch cầu 1/4

Độ thay đổi điện trở:  $\Delta R = R_G \cdot GF \cdot \varepsilon$

Chọn  $R_1 = R_2$  và  $R_3 = R_G$  ta có:



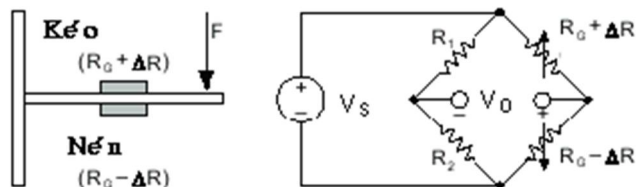
$$V_o = V_s \cdot \frac{GF \cdot \varepsilon}{4} \left( \frac{1}{1 + GF \cdot \frac{\varepsilon}{2}} \right)$$

Tuy nhiên  $GF \cdot \varepsilon / 2 \ll 1$  nên ta có thể lấy

$$V_o = V_s \cdot \frac{GF \cdot \varepsilon}{4}$$

Hình dạng mạch cầu 1/2

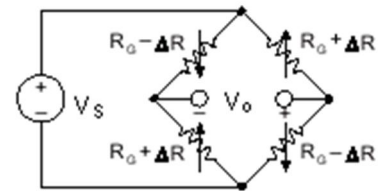
$$V_o = V_s \cdot \frac{GF \cdot \varepsilon}{2}$$



Mạch cầu 4 nhánh

Điện áp ra có thể xác định:

$$V_0 = V_s \cdot GF \cdot \varepsilon$$

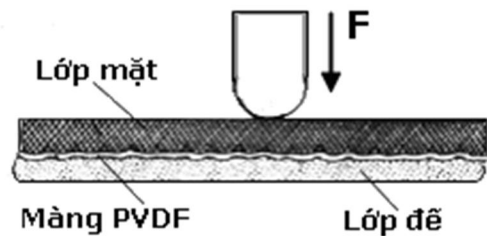


### 2.3.2. Cảm biến áp suất loại áp điện

Cảm biến áp suất áp điện có nguyên tắc hoạt động dựa trên hiện tượng thay đổi hay xuất hiện phân cực điện khi một số chất điện môi bị biến dạng dưới tác dụng của lực.

Bộ cảm biến gồm ba lớp màng polyvinylidene flourid (PVDF) được dát mỏng giữa là chất nền (cao su silicon) và lớp ép. Khi tác dụng lực lên bộ cảm biến màng PVDF chịu ứng suất và hình thành các điện tích trên bề mặt.

Điện tích thay đổi tạo nên biến thiên điện áp ra. Biên độ điện áp ra tỉ lệ với lực tác động vào bộ cảm biến.



Hình 3.18

Cảm biến áp điện được dùng để đo lực biến thiên (đến 10 kN), đo áp suất  $1000 \text{ ms}^{-1}$  ( $100 \text{ N/mm}^2$ ) và gia tốc (tới 1kg) trong dải tần từ 0,5 – 100kHz.

Ưu điểm của cảm biến loại này là cấu trúc đơn giản, kích thước nhỏ, độ tin cậy cao, có khả năng đo các đại lượng biến thiên nhanh.

### 2.3.3. Cảm biến áp suất loại màng sợi cơ giãn kim loại

Màng sợi cơ giãn là loại cảm biến rất quan trọng dùng để đo áp suất, lực... đã được phát triển đầu tiên ở Mỹ trong những năm cuối thập niên 40. Ưu điểm của loại cảm biến này là trị số đo chính xác, kích thước bé. Mạch đo thường dùng với cầu Wheatstone. Để có độ chính xác, mạch điện cần nhiều điện trở bù trừ và sửa sai.

#### \*Nguyên tắc

Khi 1 sợi dây dẫn điện bị kéo căng ra, nó trở nên dài và ốm hơn nên điện trở của dây tăng lên. Khi sợi dây bị nén, co lại, nó trở nên ngắn hơn và mập hơn nên điện trở giảm đi. Nếu giữ việc nén và kéo dãn này trong giới hạn đàn hồi thì sau khi bị biến dạng nó vẫn giữ nguyên kích thước và trị số như ban đầu. Nếu gắn chặt dây dẫn này vào phần tử cần đo đặc, chiều dài dây dẫn thay đổi theo sự biến dạng của phần tử này. Sao cho sự thay đổi điện trở của dây dẫn tương ứng với lực, áp suất làm biến dạng phần tử cần khảo sát.

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

R: Điện trở dây dẫn.

L: Chiều dài.

$\rho$ : Điện trở suất

S; Diện tích mặt cắt ngang của dây dẫn

#### 2.3.4. Mạch ứng dụng

##### **\*Ứng dụng đo lưu lượng bằng ống co với cảm biến áp suất loại điện trở áp điện**

Để đo sự chênh lệch của áp suất ở 2 vị trí có thể sử dụng cảm biến áp suất loại điện trở áp điện.

Loại cảm biến này có 2 mặt:

Mặt trước còn gọi là mặt tích cực (mặt công tắc), vì lí do cách điện nên chỉ chịu đựng được các khí sạch như không khí và khí Freon.

Mặt sau còn gọi là mặt thụ động chỉ gồm các mặt silic chịu đựng được nhiều môi trường khác nhau.

Cho nên để đo hiệu số áp suất của một dòng chảy ta dùng 2 cảm biến và cho môi trường tác dụng ở mặt sau cảm biến.

- Có thể dùng loại cảm biến 240PC Series của Honeywell.

- Các loại cảm biến này có các khoảng đo: 0..0,345 bar, 0...1 bar, 0... 2 bar, 0...4 bar, 0...7 bar, 0...10 bar.

- Hoạt động với điện áp 8 V.

- Điều kiện nhiệt độ môi trường: - 40<sup>0</sup>C...+85<sup>0</sup>C.

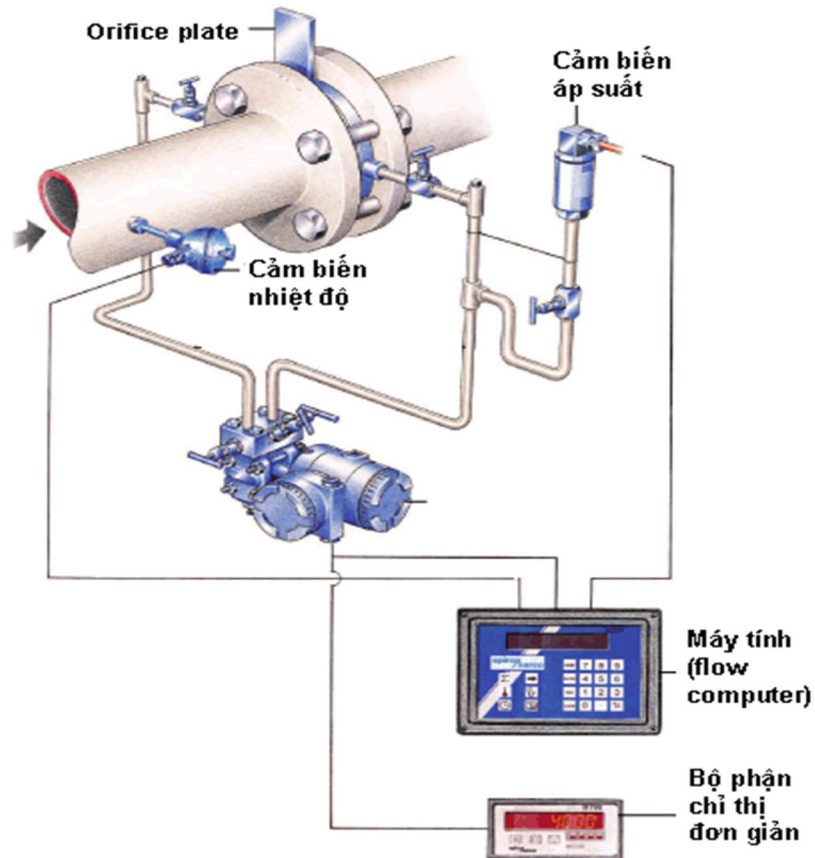


Hình 3.19: 240 PC Series

- Vật liệu ống dẫn là cao su buna - N nên có thể chịu đựng được dầu lửa, dầu nhớt, dầu thủy lực, cồn, khí Freon...

Đại lượng ngõ ra của cảm biến là giá trị điện áp. Tín hiệu ra của 2 cảm biến được đưa đến mạch xử lý để cuối cùng có được kết quả chỉ thị.

**\*Mạch lắp đặt thực tế sử dụng Orifice plate để đo lưu lượng**

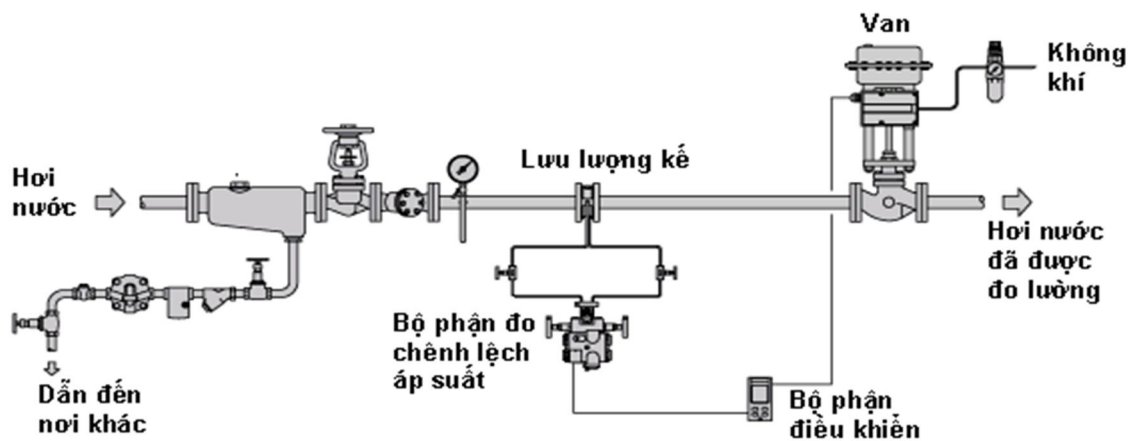


Hình 3.20

Thông tin độ chênh lệch áp suất có thể đưa trực tiếp tới 1 bộ chỉ thị đơn giản hay đưa tới một mạch tính toán – chỉ thị phức tạp (flow computer) hơn kèm theo cả thông tin nhiệt độ và áp suất. Bộ phận này có thể tính toán bù vào sự thay đổi của khối lượng riêng lưu chất theo điều kiện môi trường.

✚ Các lĩnh vực ứng dụng tiêu biểu của hệ thống điều khiển lưu lượng:

- Hệ thống hoạt động bằng hơi nước.
- Kiểm soát lượng nước đưa vào sản phẩm (chúng đòi hỏi môi trường khô ráo khi vận chuyển và lưu trữ như: thuốc lá, cà phê, các chất liệu làm thức ăn gia súc).



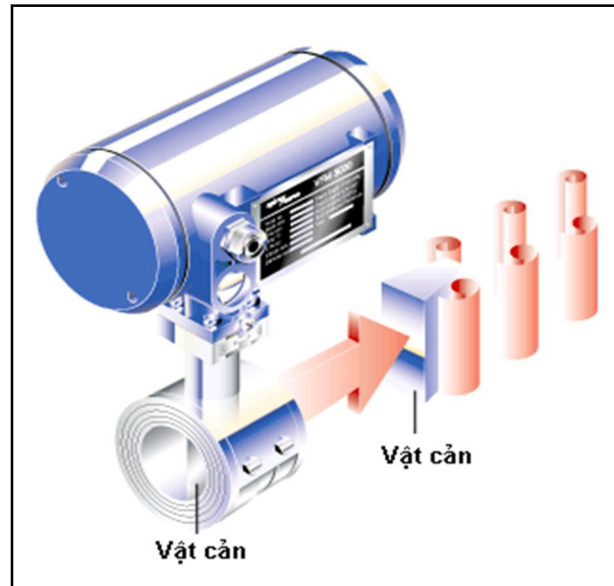
Hình 3.21: Sơ đồ hệ thống đo lưu lượng

### 3. Phương pháp đo lưu lượng bằng tần số dòng xoáy.

*Mục tiêu: - Nắm được phương pháp đo lưu lượng áp suất bằng phương pháp đo tần số dòng điện xoáy và ưu nhược điểm của phương pháp.*

#### 3.1. Nguyên tắc hoạt động

Phương pháp đo lưu lượng bằng dòng xoáy dựa trên hiệu ứng sự phát sinh dòng xoáy khi một vật cản nằm trong lưu chất. Các dòng xoáy xuất hiện tuần tự và bị dòng chảy cuốn đi. Hiện tượng này đã được Leonardo da Vinci ghi nhận Strouhal trong năm 1878 đã cố gắng giải thích lần đầu tiên. Ông đã nhận thấy rằng một sợi dây nằm trong dòng chảy có sự rung động như một dây đàn. Sự dao động này tỉ lệ thuận với vận tốc dòng chảy và tỉ lệ nghịch với đường kính sợi dây.



Hình 3.22: Cảm biến đo lưu lượng với nguyên tắc tần số dòng xoáy

Theodor von Karman đã tìm thấy nguyên nhân gây ra sự dao động này: đó là sự sinh ra và biến mất của các dòng xoáy bên cạnh vật cản. Một con đường. Dòng xoáy hình thành phía sau vật cản khi một vật được đặt trong một dòng chảy.

Các dòng xoáy này rời bỏ vật cản tuần tự và trôi đi theo dòng chảy. Phía sau vật cản hình thành con đường của dòng xoáy được đặt tên là con đường xoáy Karman. Các dòng xoáy ở hai bên cạnh của vật cản, có chiều xoáy ngược nhau. Tần số sự biến mất (và cả sự xuất hiện) là hiệu ứng dùng để đo lưu lượng bằng thể tích.



Hình 3.23: Hình ảnh dòng xoáy

Lord Rayleigh đã tìm thấy sự liên hệ giữa kích thước hình học vật cản, vận tốc lưu chất  $v$  và tần số biến mất của dòng xoáy  $f$ . Sự liên hệ này được diễn tả với trị số Strouhal.:  $S = \frac{f \cdot a}{v}$

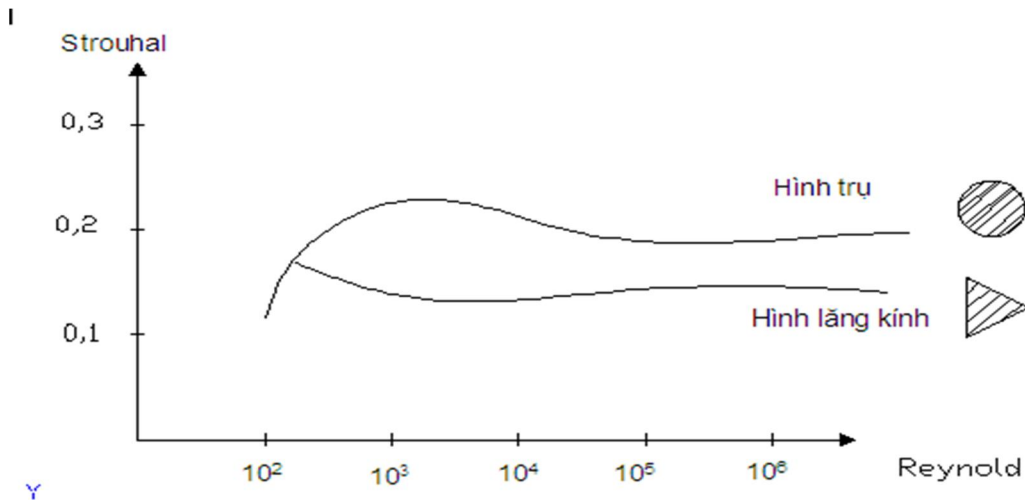
$a$ : đường kính của vật cản.

$f$ : tần số dòng xoáy

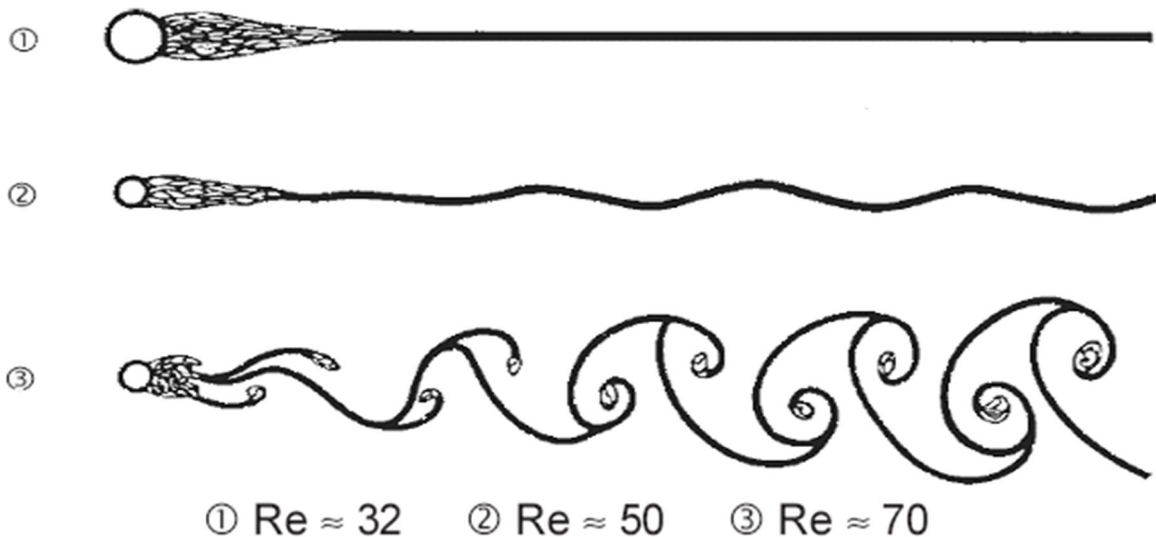
$v$ : vận tốc dòng xoáy

Trị số Strouhal là hàm của trị số Reynold (Reynold: là tỷ lệ giữa lực quán tính và lực nhớt trong một lưu chất, biểu thị sự ma sát của một dòng chảy.  $Re = \frac{\rho u D}{\mu}$   $\rho$ : khối lượng riêng của lưu chất,  $u$ : vận tốc lưu chất,  $D$ : đường kính bên trong ống dẫn,  $\mu$ : độ nhớt)

Hình dáng của vật cản phải được cấu tạo sao cho trong một khoảng trị số Reynold khá rộng mà trị số Strouhal vẫn là hằng số. Hình 3.24 phía dưới cho ta sự liên hệ giữa trị số Strouhal và trị số Reynold với hai vật cản khác nhau. Với vật cản hình lăng kính trị số  $S$  ổn định trong suốt một dải trị số  $Re$  khá rộng.



Hình 3.24: Sự liên hệ giữa trị số Strouhal và trị số Reynold



①  $Re \approx 32$     ②  $Re \approx 50$     ③  $Re \approx 70$

Hình 3.25: Hình ảnh dòng xoáy với các trị số Reynold khác nhau



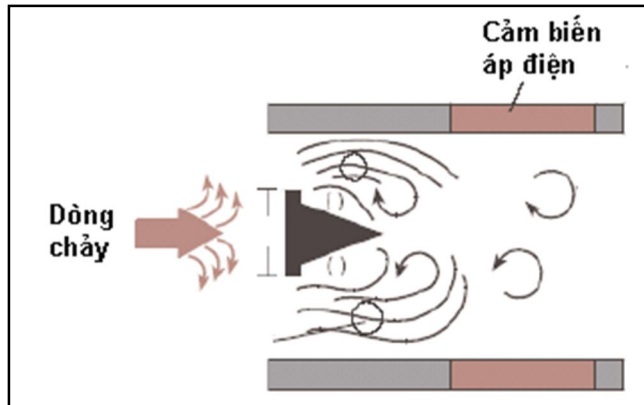
Với điều kiện hằng số Strouhal S không tùy thuộc vào trị số Reynold ta có thể tính lưu lượng thể tích trên đơn vị thời gian theo công thức sau:

$$Q = \frac{1}{S} \cdot a \cdot A \cdot f$$

A: Diện tích cắt ngang của dòng chảy.

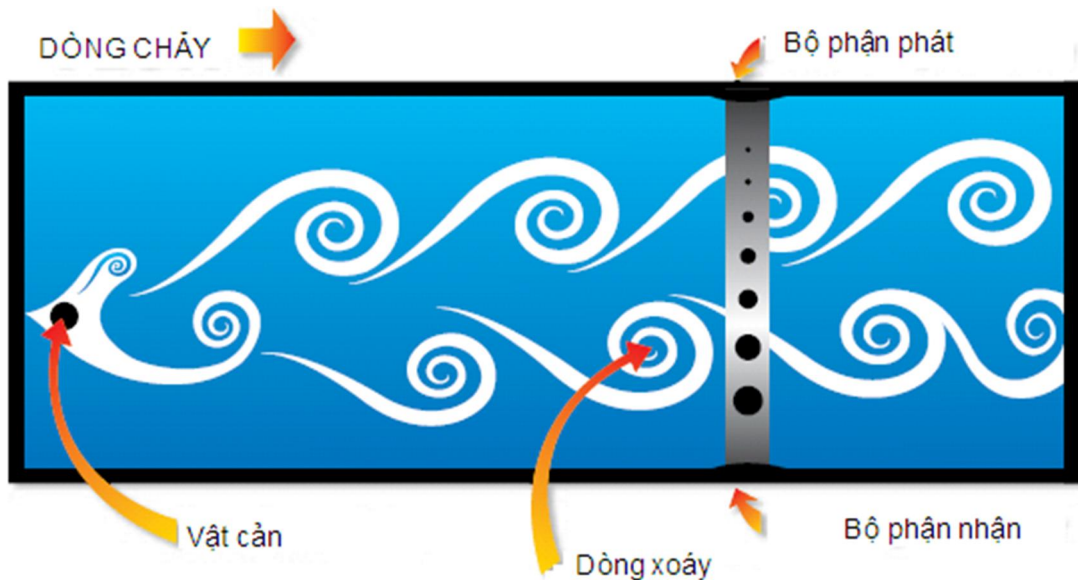
### Nguyên tắc đo tần số dòng xoáy

Với sự biến mất và xuất hiện của dòng xoáy, vận tốc dòng chảy ở hai bên vật cản và trên đường dòng xoáy thay đổi một cách cục bộ. Tần số dao động của vận tốc có thể đo với những phương pháp khác nhau. Các nhà sản xuất các lưu lượng kế sử dụng nguyên tắc tần số dòng xoáy dùng các kỹ thuật khác nhau để ghi nhận tần số.



Hình 3.26: Kỹ thuật đo với cảm biến áp điện

- Một số sử dụng các “vây cá” cơ khí để ghi nhận những rung động của dòng chảy.
- Số khác sử dụng kỹ thuật cảm biến áp điện hoặc sóng siêu âm để cảm nhận sự thay đổi của áp suất. Ngoài ra còn có một số phương pháp khác để ghi nhận số liệu như: Đo sự dao động áp suất với màng sọc co giãn...



Hình 3.27: Kỹ thuật đo dùng Sóng siêu âm

Kỹ thuật số mở ra một kỉ nguyên mới cho các lưu lượng kế sử dụng nguyên tắc tần số dòng xoáy, kỹ thuật số cho phép phân tích tín hiệu nhận được, điều mà trước đây không thể thực hiện được. Trong những báo cáo nghiên cứu gần đây cho thấy các nhà sản xuất đã đạt được những tiến bộ đáng kể cho mục tiêu cơ bản: Đo tần số dòng xoáy. Vấn đề chính luôn là xác định

tín hiệu từ dòng xoáy, đặc biệt là khi tần số của dòng xoáy ở mức thấp. Với tín hiệu dòng xoáy tần số thấp, sẽ có sự chia sẻ dải tần với những rung động hạ tần khác trong công nghiệp. Các nhà sản xuất sử dụng các bộ lọc để tăng tỷ lệ tín hiệu trên tạp âm. Tuy nhiên khi tần số của dòng xoáy thay đổi, thiết bị phải tự động điều chỉnh lại dải thông của bộ lọc. Tình trạng trên được so sánh với một chiếc radio, khi người sử dụng dò các tần số của các đài phát thanh, khi tìm thấy thì giữ cố định. Vấn đề tần số của dòng xoáy thì khó khăn hơn, có nhiều tín hiệu khác nhau trong dải tần mà thiết bị tìm kiếm. Thậm chí khi đã tìm được đúng tần số rồi, thì nó vẫn có thể thay đổi trong chốc lát.

### **3.2. Các ưu điểm nổi bật và hạn chế của phương pháp đo lưu lượng với nguyên tắc tần số dòng xoáy**

#### **\*Các ưu điểm**

- Rất kinh tế và có độ tin cậy cao.
- Tần số dòng xoáy không bị ảnh hưởng bởi sự dơ bẩn hay hư hỏng nhẹ của vật cản. Đường biểu diễn của nó tuyến tính và không thay đổi theo thời gian sử dụng.
- Sai số phép đo rất bé.
- Khoảng đo lưu lượng tính bằng thể tích từ 3% đến 100% thang đo.
- Phép đo bằng dòng xoáy là độc lập với các tính chất vật lý của môi trường dòng chảy. Sau một lần chuẩn định, không cần chuẩn định lại với từng loại lưu chất.
- Các máy đo lưu lượng bằng dòng xoáy không có bộ phận cơ học chuyển động và sự đòi hỏi về cấu trúc khá đơn giản.
- Lưu chất không cần có tính chất dẫn điện như trong phép đo lưu lượng bằng cảm ứng điện từ.
- Không gây cản trở dòng chảy nhiều

#### **\*Các hạn chế**

- Với tốc độ dòng chảy quá thấp, dòng xoáy có thể không được tạo ra và như vậy lưu lượng kế sẽ chỉ ở mức 0.
- Các rung động có thể ảnh hưởng đến độ chính xác của kết quả đo.
- Việc lắp đặt nếu tạo ra các điểm nhô ra (như các vị trí hàn...) có thể ảnh hưởng tới dạng của dòng xoáy, ảnh hưởng tới độ chính xác.
- Tốc độ lớn nhất cho phép của dòng chảy theo chỉ dẫn thường ở mức 80 đến 100 m/s. Nếu lưu chất đo ở dạng khí hoặc hơi mà vận tốc lớn hơn sẽ gặp nhiều vấn đề khó khăn đặc biệt là với các chất khí ẩm ướt và bẩn.
- Đòi hỏi phải có một đoạn ống thẳng, dài ở trước vị trí đo.

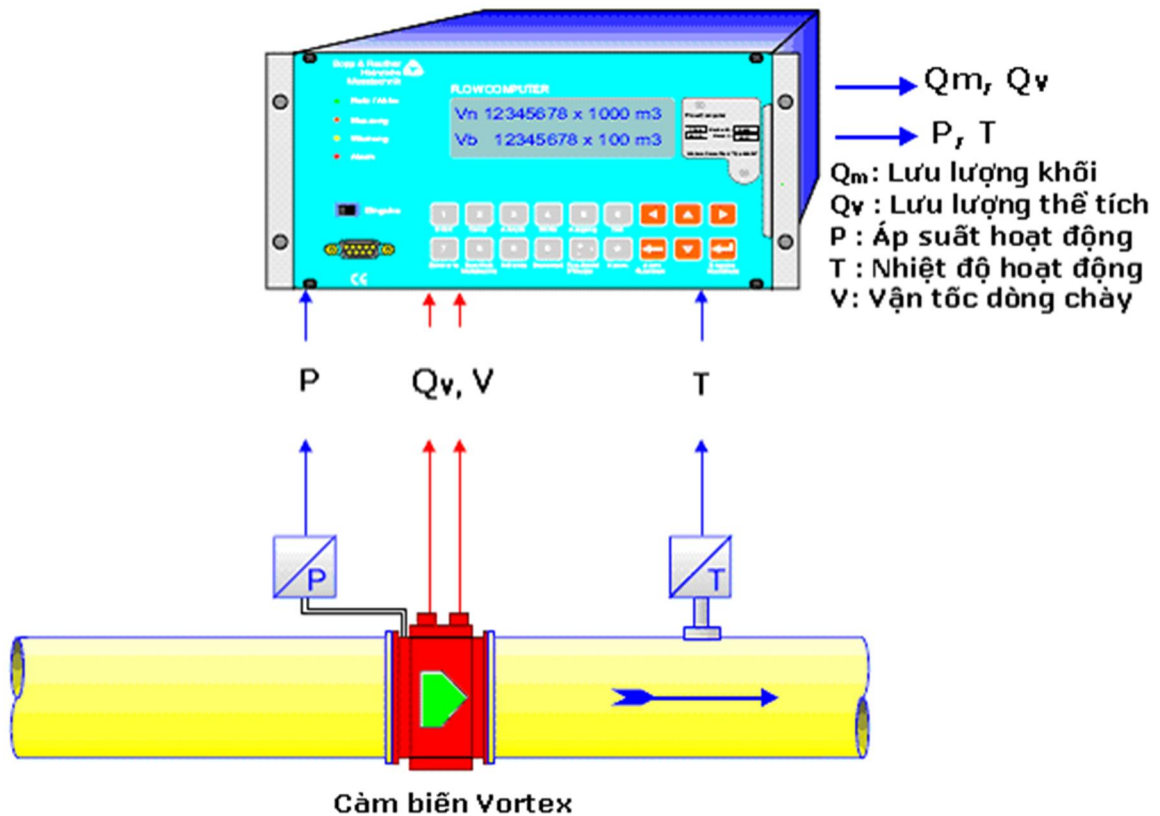
### **3.3. Một số ứng dụng của cảm biến đo lưu lượng với nguyên tắc tần số dòng xoáy.**

- Đo lưu lượng hơi nước tại khu vực nung nóng tạo hơi và khu vực sử dụng.
- Đo lưu lượng các chất khí đốt.



- Đo lưu lượng dẫn điện và cả không dẫn điện.
- Sử dụng ở các khu vực có yêu cầu khắc nghiệt.
- Đo lượng lưu chất cần thiết (hệ thống nén khí, các sản phẩm hóa học..).

Hệ thống đo lưu lượng trong thực tế có thể dùng máy tính lưu lượng (flow computer), các cảm biến đo nhiệt độ, cảm biến áp suất đem lại những tiện dụng cho người sử dụng.



Hình 3.28: Hệ thống đo lưu lượng với cảm biến Vortex

## CHƯƠNG 4: ĐO VẬN TỐC VÒNG QUAY VÀ GÓC QUAY

Mã chương: MH27-04

**Giới thiệu:** Trong công nghiệp có rất nhiều trường hợp cần đo vận tốc quay của máy. Người ta thường theo dõi tốc độ quay của máy vì lý do an toàn hoặc để khống chế các điều kiện đặt trước cho hoạt động của máy móc, thiết bị. Trong chuyển động thẳng việc đo vận tốc dài cũng thường được chuyển sang đo vận tốc quay. Bởi vậy các cảm biến đo vận tốc góc chiếm vị trí ưu thế trong lĩnh vực đo tốc độ.

### Mục tiêu:

- Trình bày được các phương pháp đo.
- Lắp ráp được một số mạch đo ứng dụng dùng các loại cảm biến trên.
- Phát huy tính tích cực chủ động, sáng tạo, tác phong công nghiệp.

### Nội dung chính:

#### 1. Một số phương pháp cơ bản.

*Mục tiêu: Trình bày các phương pháp đo tốc độ*

Cảm biến vận tốc góc quay cung cấp cho ta tín hiệu đo là tần số. Thông thường trên trục quay được đánh một hay nhiều dấu và một cảm biến ở phần không chuyển động sẽ ghi nhận sự chuyển động của các dấu này. Tần số đo được tỉ lệ với vòng quay  $n$  và số dấu  $k$ :

$$f = n.k$$

Để đo tốc độ quay của rotor ta có thể sử dụng các phương pháp sau:

- Sử dụng máy phát tốc độ một chiều hoặc xoay chiều, thực chất là các máy phát điện công suất nhỏ có sức điện động tỉ lệ với tốc độ cần đo. Được sử dụng rộng rãi trong các hệ chuyển động kinh điển.
- Sử dụng bộ cảm biến quang tốc độ với bộ mã hóa.
- Sử dụng máy đo góc tuyệt đối.
- Xác định tốc độ gián tiếp qua phép đo dòng điện và điện áp stator mà không cần dùng bộ cảm biến tốc độ.

#### 1.1. Đo vận tốc vòng quay bằng phương pháp analog

##### 1.1.1. Tốc độ kế một chiều (máy phát tốc):

Máy phát tốc độ là máy phát điện một chiều, cực từ là nam châm vĩnh cửu.

Điện áp trên cực máy phát tỉ lệ với tốc độ quay của nó. Máy phát tốc độ nối cùng trục với phanh hãm điện từ và cùng trục với động cơ do đó tốc độ quay của nó chính là tốc độ quay của động cơ. Tốc độ này tỉ lệ với điện áp của máy phát tốc độ, dùng Vmét điện từ hoặc đồng hồ đo tốc độ nối với nó có thể đo được tốc độ của động cơ. Giá trị điện áp âm hay dương phụ thuộc vào chiều quay.

$$E_r = -(\omega n \Phi_0) / 2\pi = -Nn\Phi_0$$

$N$ : số vòng quay trong 1 s.

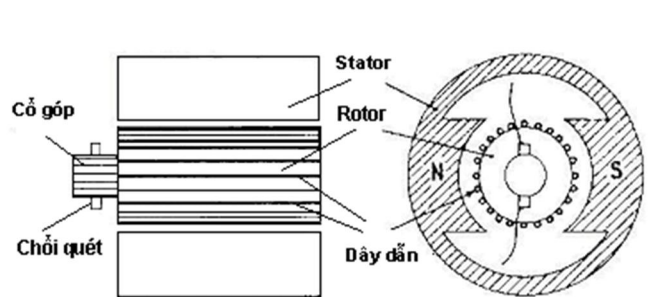
$\omega$ : vận tốc góc của rotor.

$n$ : là tổng số dây chính trên rotor.

$\Phi_0$ : là từ thông xuất phát từ cực nam châm

Các phần tử cấu tạo cơ bản của một tốc độ kế dòng một chiều biểu diễn trên hình 4.1.

Stator (phần cảm) là một nam châm điện hoặc một nam châm vĩnh cửu có hai cực nam và bắc nằm ngoài cùng. Rotor (phần ứng) gồm có lõi thép phản ứng, trên có xẻ rãnh, trong rãnh có đặt dây quấn



Hình 4.1: Cấu tạo của một máy phát dòng một chiều.

### 1.1.2. Tốc độ kế dòng xoay chiều

Tốc độ kế dòng xoay chiều có ưu điểm là không có cổ góp điện và chổi than nên có tuổi thọ, không có tăng, giảm điện áp trên chổi than. Nhược điểm là mạch điện phức tạp hơn, ngoài ra để xác định biên độ cần phải chỉnh lưu và lọc tín hiệu.

#### a. Máy phát đồng bộ.

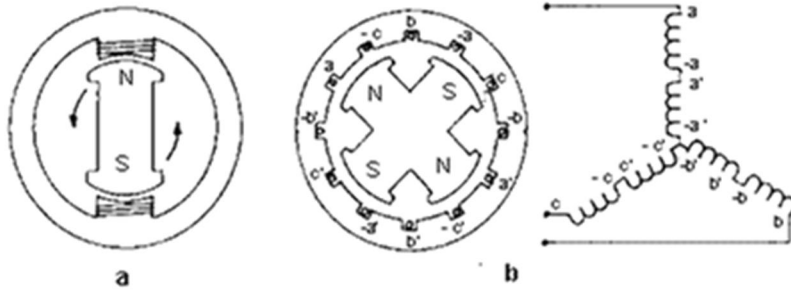
Là một loại máy phát điện xoay chiều loại nhỏ. Rotor của máy phát được gắn đồng trục với thiết bị cần đo tốc độ. Rotor là một nam châm hoặc nhiều nam châm nhỏ hình 4.3. Stator là phần cảm, có thể 1 pha hoặc ba pha, là nơi cung cấp suất điện động hình sin có biên độ tỷ lệ với tốc độ quay của rotor.

$$e = E_0 \sin \Omega t$$

$$E_0 = K_1 \cdot \omega, \quad \Omega = K_2 \cdot \omega$$

$K_1$  và  $K_2$  là các thông số đặc trưng cho máy phát.

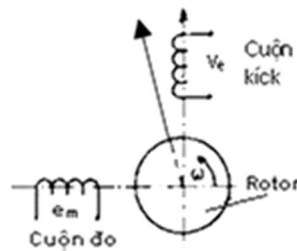
Ở đầu ra điện áp được chỉnh lưu thành điện áp một chiều. Điện áp này không phụ thuộc vào chiều quay và hiệu suất lọc giảm đi khi tần số thấp. Tốc độ quay có thể xác định được bằng cách đo tần số của sức điện động. Phương pháp này rất quan trọng khi khoảng cách đo lớn. Tín hiệu từ máy phát đồng bộ có thể truyền đi xa và sự suy giảm tín hiệu trên đường đi không ảnh hưởng đến độ chính xác của phép đo. (vì đo tần số).



Hình 4.2. Cấu tạo của một máy phát đồng bộ. (a: 1 pha, b: 3 pha)

### b. Máy phát không đồng bộ

Cấu tạo của máy phát không đồng bộ tương tự như động cơ không đồng bộ hai pha (hình 4.3)



Hình 4.3. Cấu tạo của một máy phát đồng bộ.

Rotor là một hình trụ kim loại mỏng được quay với vận tốc cần đo, khối lượng và quán tính của nó không đáng kể. Stator làm bằng thép lá kỹ thuật điện, trên có đặt hai cuộn dây được bố trí như hình vẽ. Cuộn thứ nhất là cuộn kích từ được cung cấp một điện áp định mức có biên độ và tần số không đổi  $\omega_e$ .

$$v_e = V_e \cos \omega_e t$$

Cuộn dây thứ hai là cuộn dây đo, giữa hai đầu của cuộn này sẽ suất hiện sức điện động có biên độ tỉ lệ với vận tốc góc cần đo.

$$e_m = E_m \cos(\omega_e t + \Phi) = k \omega V_e \cos(\omega_e t + \Phi)$$

$$\text{Do } E_m = k \omega V_e = k' \omega$$

k là hằng số phụ thuộc vào cấu trúc của máy.

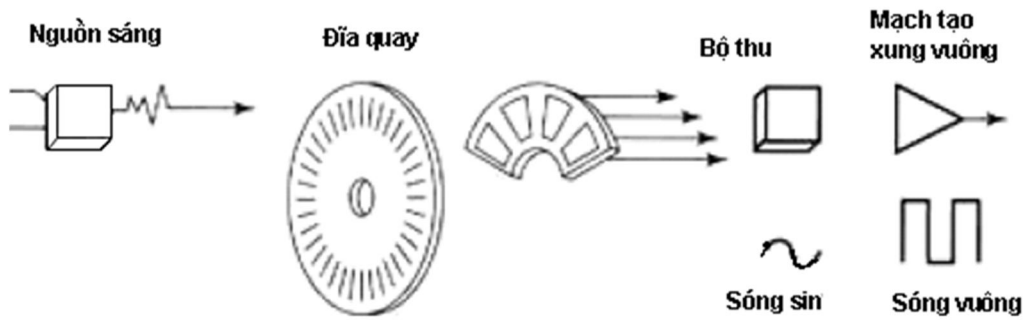
$\Phi$ : độ lệch pha.

Khi đo  $E_m$  sẽ xác định được  $\omega$

## 1.2. Đo vận tốc vòng quay bằng phương pháp quang điện tử

### 1.2.1. Dùng bộ cảm biến quang tốc độ với đĩa mã hóa

Encoder là thiết bị có thể phát hiện sự chuyển động hay vị trí của vật. Encoder sử dụng các cảm biến quang để sinh ra chuỗi xung, từ đó chuyển sang phát hiện sự chuyển động, vị trí hay hướng chuyển động của vật thể.



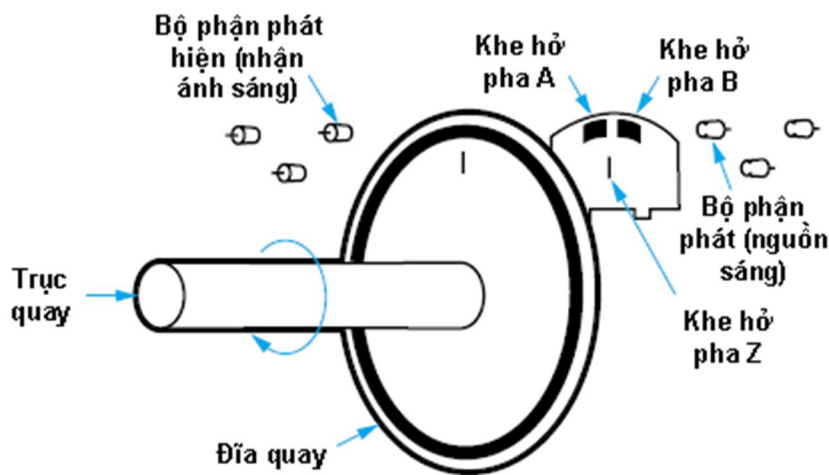
Hình 4.5: Sơ đồ hoạt động đĩa quang mã hóa

Nguồn sáng được lắp đặt sao cho ánh sáng liên tục được tập trung xuyên qua đĩa thủy tinh. Bộ phận thu nhận ánh sáng được lắp ở mặt còn lại của của đĩa sao cho có thể nhận được ánh sáng. Đĩa được lắp đặt đến trục động cơ hay thiết bị khác cần xác định vị trí sao cho khi trục quay, đĩa cũng sẽ quay. Khi đĩa quay sao cho lỗ, nguồn sáng, bộ phận nhận ánh sáng thẳng hàng thì tín hiệu xung vuông sinh ra.

Khuyết điểm: cần nhiều lỗ để nâng cao độ chính xác nên dễ làm hư hỏng đĩa quay

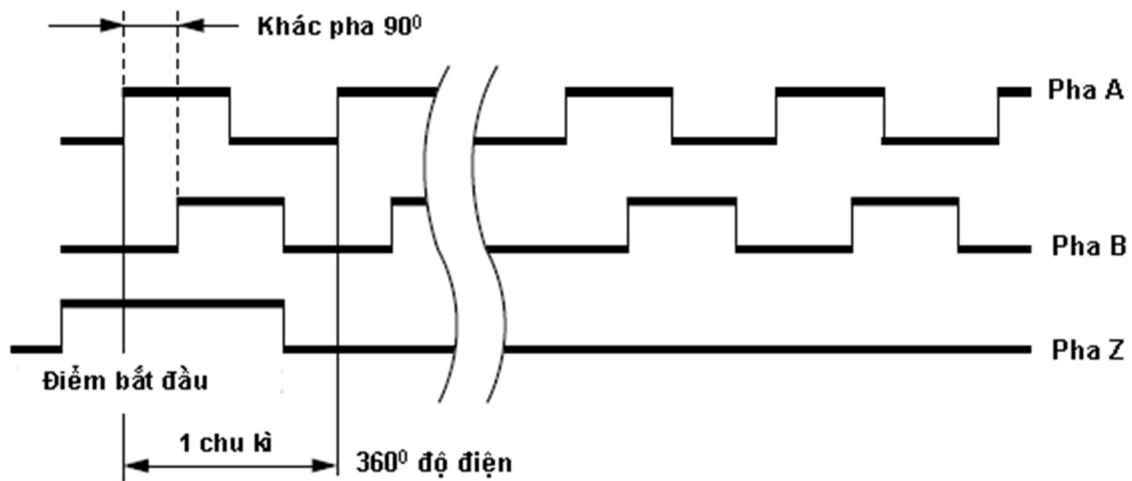
### 1.2.2. Đĩa mã hóa tương đối

Encoder với 1 bộ xung thì sẽ không thể phát hiện được chiều quay, hầu hết các encoder mã hóa đều có bộ xung thứ 2 lệch pha  $90^\circ$  so với bộ xung thứ nhất, và một xung xác định mỗi thời gian encoder quay một vòng.



Hình 4.6: Sơ đồ thu phát Encoder tương đối

Xung A, xung B và xung điều khiển, nếu xung A xảy ra trước xung B, trục sẽ quay theo chiều kim đồng hồ, và ngược lại, xung Z xác định đã quay xong một vòng.



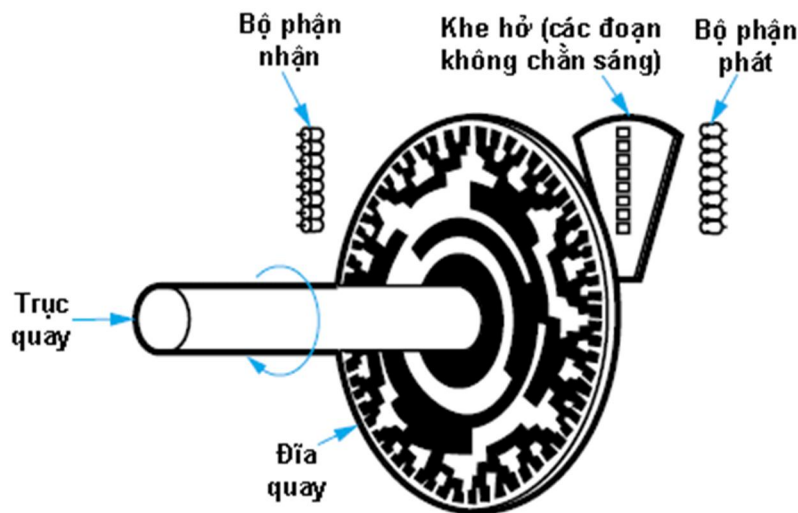
Hình 4.7: Dạng sóng ra của Encoder 2 bộ xung

Gọi  $T_n$  là thời gian đếm xung,  $N_0$  là số xung trong một vòng (độ phân giải của bộ cảm biến tốc độ, phụ thuộc vào số lỗ),  $N$  là số xung trong thời gian  $T_n$ .

$$n \text{ (vòng / phút)} = \frac{60N}{40N_0T_n}$$

### 1.2.3.Đĩa mã hóa tuyệt đối

Để khắc phục nhược điểm chính của đĩa mã hóa tương đối là khi mất nguồn số đếm sẽ bị mất. Như vậy khi các cơ cấu ngưng hoạt động vào buổi tối hay khi bảo trì thì khi bật nguồn trở lại encoder sẽ không thể xác định chính xác vị trí cơ cấu.



Hình 4.8: Sơ đồ thu phát Encoder tuyệt đối (sử dụng mã Gray)

Đĩa mã hóa tuyệt đối được thiết kế để luôn xác định được vị trí vật một cách chính xác.

Đĩa encoder tuyệt đối sử dụng nhiều vòng phân đoạn theo hình đồng tâm gồm các phân đoạn chắn sáng và không chắn sáng.

- Vòng trong cùng xác định đĩa quay đang nằm ở nửa vòng tròn nào

- Kết hợp vòng trong cùng với vòng tiếp theo sẽ xác định đĩa quay đang nằm ở  $\frac{1}{4}$  vòng tròn nào.

- Các rãnh tiếp theo cho ta xác định được vị trí  $\frac{1}{8}$ ,  $\frac{1}{16}$ ... của vòng tròn. Vòng phân đoạn ngoài cùng cho ta độ chính xác cuối cùng.

Loại encoder này có nguồn sáng và bộ thu cho mỗi vòng như nếu encoder có 10 vòng sẽ có 10 bộ nguồn sáng và thu, nếu encoder có 16 vòng sẽ có 16 bộ nguồn sáng và thu.

Ngoài việc khắc phục nhược điểm của đĩa mã hóa tương đối, với đĩa mã hóa tuyệt đối encoder còn có thể giảm tốc xuống sao cho encoder quay đủ 1 vòng suốt chiều dài cơ cấu.

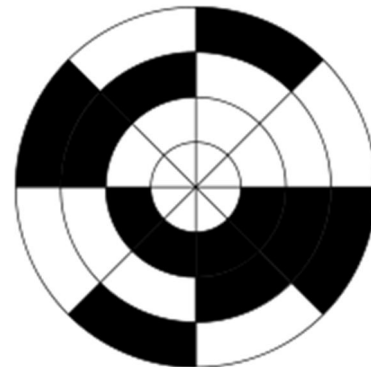
Để đếm đo vận tốc hay vị trí (góc quay), có thể sử dụng mã nhị phân hoặc mã Gray. Tuy nhiên thực tế chỉ có mã Gray được sử dụng phổ biến.

**\* Xét trường hợp đĩa mã hóa tuyệt đối trường hợp 3 rãnh với mã nhị phân và mã Gray**

▪ **Mã nhị phân**

**Bảng giá trị 1**

Mã nhị phân				
Vùng	Vòng 1	Vòng 2	Vòng 3	Góc
1	off	off	off	0° tới 45°
2	off	off	on	45° tới 90°
3	off	on	off	90° tới 135°
4	off	on	on	135° tới 180°
5	on	off	off	180° tới 225°
6	on	off	on	225° tới 270°
7	on	on	off	270° tới 315°
8	on	on	on	315° tới 360°



*Hình 4.9: Đĩa mã hóa tuyệt đối trường hợp 3 rãnh với mã nhị phân*

**Ghi chú:** Vùng màu đen qui ước tương ứng với giá trị on (phân đoạn không chắn sáng).

Chiều quay ngược chiều kim đồng hồ (góc quay mang giá trị dương).

Vòng trong cùng (vòng 1): tương ứng với bit MSB.

Vòng ngoài cùng: tương ứng với bit LSB.

Một cách tổng quát, khi có n vòng thì sẽ có số lượng vị trí của đối tượng là  $2^n$ . ví dụ n = 3 số lượng vị trí xác định được là  $2^3 = 8$ .

Ở ví dụ trên, mã nhị phân được tạo ra khi đĩa quay, qua đó có thể xác định được vị trí của đĩa quay. Tuy nhiên trong thực tế việc đặt vị trí các rãnh chắn sáng và các rãnh cho ánh sáng đi qua khó mà có thể thực hiện 1 cách hoàn hảo. Trong khi đó vị trí của chúng lại quyết định giá trị gõ ra.

Ví dụ khi đĩa chuyển từ vị trí  $179,9^0$  tới  $180,1^0$  (từ vùng 4 sang vùng 5), trong tức khắc, theo bảng giá trị 1, sẽ có sự chuyển trạng thái từ off-on-on sang on-off-off. Cách thức hoạt động này sẽ không có được độ tin cậy, bởi vì trong thực tế thì sẽ không thể có sự chuyển trạng thái đồng thời 1 cách hoàn hảo. Nếu ở vị trí vòng 1 chuyển trạng thái trước, rồi đến vòng 3 và vòng 2 thì thực sự sẽ có chuỗi các mã nhị phân như sau sẽ được tạo ra.

off-on-on (vị trí bắt đầu)

on-on-on (đầu tiên, trạng thái vòng 1 lên on)

on-on-off (kế đến, trạng thái vòng 3 xuống off)

on-off-off (cuối cùng, trạng thái vòng 2 xuống off)

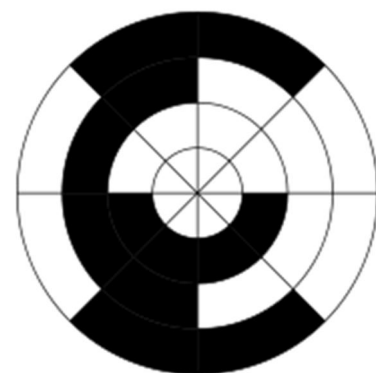
Như vậy chuỗi mã nhị phân tạo ra tương ứng với việc đĩa quay ở các vị trí 4, 8, 7, 5. Trong nhiều trường hợp điều này có thể gây nên rắc rối, làm lỗi hệ thống. Ví dụ encoder được sử dụng cho cánh tay robot, bộ điều khiển cho rằng cánh tay ở sai vị trí và cố gắng thực hiện việc di chuyển  $180^0$  để có thể quay về vị trí đúng.

#### ▪ Mã Gray

Để khắc phục những vấn đề nêu trên, mã Gray được sử dụng. Đây cũng là một hệ thống mã nhị phân nhưng chỉ có 1 sự khác nhau duy nhất giữa 2 mã Gray kế tiếp nhau (chỉ có 1 bit thay đổi trạng thái). Ví dụ trong bảng giá trị 2, từ vùng 1 chuyển sang vùng 2 chỉ có sự thay đổi từ off sang on ở vị trí bit đại diện cho vòng 3.

**Bảng giá trị 2**

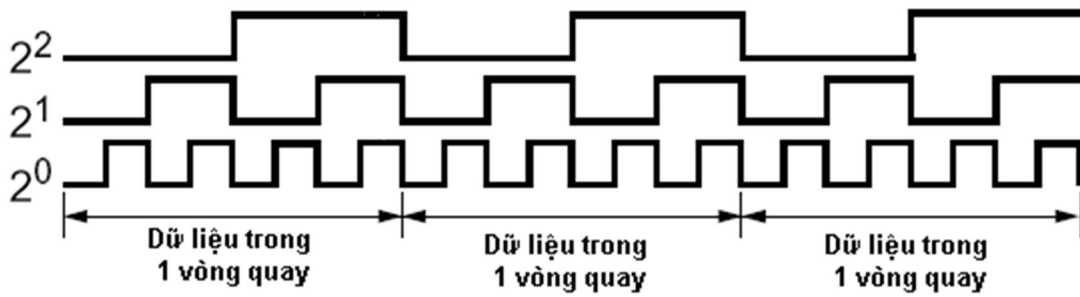
Mã Gray				
Vùng	Vòng 1	Vòng 2	Vòng 3	Góc
1	off	off	off	$0^0$ tới $45^0$
2	off	off	on	$45^0$ tới $90^0$
3	off	on	on	$90^0$ tới $135^0$
4	off	on	off	$135^0$ tới $180^0$
5	on	on	off	$180^0$ tới $225^0$
6	on	on	on	$225^0$ tới $270^0$
7	on	off	on	$270^0$ tới $315^0$



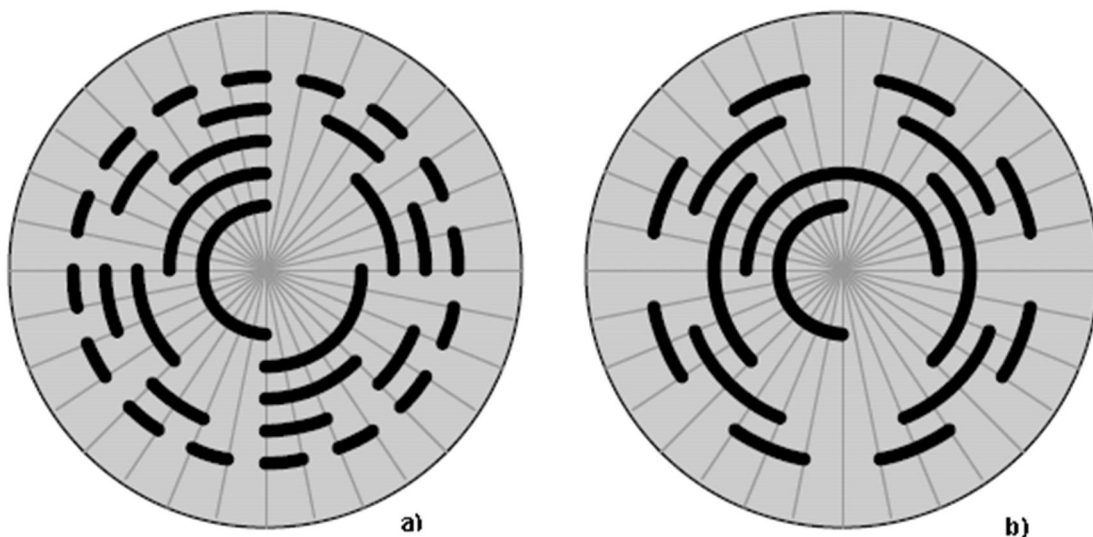
Hình 4.10: Đĩa mã hóa tuyệt đối trường hợp 3 rãnh với mã Gray



8	on	off	off	315° ới 360°
---	----	-----	-----	--------------



Hình 4.11 : Dạng sóng ra của encoder với đĩa mã hóa tuyệt đối (mã Gray)



Hình 4.12: Đĩa mã hóa tuyệt đối trường hợp 5 rãnh  
a) mã nhị phân  
b) mã Gray

### 1.3. Đo vận tốc vòng quay với nguyên tắc điện trở từ.

#### 1.3.1. Các đơn vị từ trường và định nghĩa

- **Từ trường**

Từ trường là một dạng vật chất tồn xung quanh dòng, hay nói chính xác là xung quanh các hạt mang điện chuyển động. tính chất cơ bản của từ trường là tác dụng lực từ lên dòng điện, lên nam châm.

- **Cảm ứng từ B**

Về mặt gây ra lực từ, từ trường được đặc trưng bằng vectơ cảm ứng từ B. Trong hệ thống đơn vị SI đơn vị cảm ứng từ B là T (Tesla).

$$1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2 = 1 \text{ V.s/m}^2$$

- **Từ thông  $\Phi$**

Từ thông gởi qua diện tích dS là đại lượng về giá trị bằng

$$d\Phi = \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

Trong đó:

- $\vec{B}$  là vectơ cảm ứng từ tại 1 điểm bất kì trên diện tích ấy.
- $d\vec{S}$  là vectơ có phương của vectơ pháp tuyến  $\vec{n}$  với diện tích đang xét, chiều là chiều dương của pháp tuyến, độ lớn bằng độ lớn diện tích đó.

Trong hệ thống đơn vị SI đơn vị từ thông là Weber (Wb). Nếu từ thông thay đổi 1 đơn vị trong thời gian 1 s, điện áp cảm ứng sinh ra trong cuộn dây là 1 V.

$$1\text{Wb} = 1\text{Vs}$$

### ▪ Cường độ từ trường H

Cường độ từ trường H đặc trưng cho từ trường do riêng dòng điện sinh ra và không phụ thuộc vào tính chất môi trường trong đó đặt dòng điện.

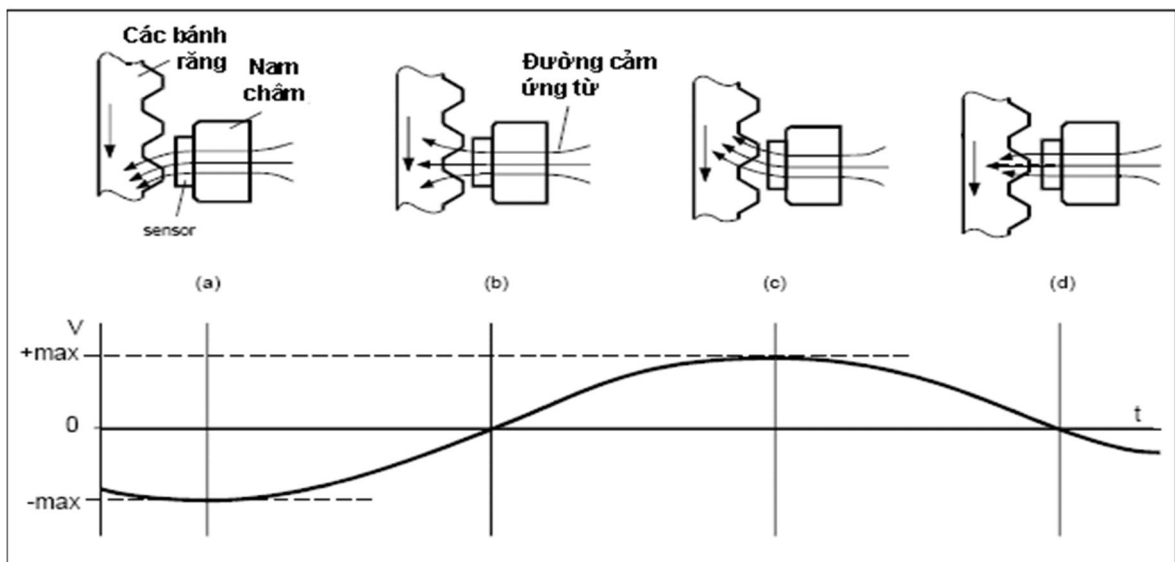
Trong hệ thống đơn vị SI đơn vị của cường độ từ trường H là A/m

### 1.3.2. Cảm biến điện trở từ

Cảm biến điện trở từ là 1 linh kiện bán dẫn có hai cực, điện trở của nó gia tăng dưới tác động của từ trường. Trong trường hợp từ trường tác dụng thẳng góc mặt phẳng của cảm biến ta có độ nhạy lớn nhất. Chiều của từ trường không ảnh hưởng gì đến hiệu ứng điện trở từ trong trường hợp này.

Độ lớn của tín hiệu ra của cảm biến điện trở từ không phụ thuộc vào tốc độ quay. Khác với trường hợp cảm biến điện cảm, độ lớn tín hiệu ra quan hệ trực tiếp với tốc độ quay, vì vậy đòi hỏi các thiết bị điện tử phức tạp để có thể thu nhận được các tín hiệu trên 1 dải điện áp rộng.

Ngược lại với cảm biến điện trở từ, tín hiệu ra được hình thành bởi sự đổi hướng của đường cảm ứng từ - bending of magnetic field lines (thay đổi theo vị trí của bánh răng). Tín hiệu ra của cảm biến vẫn được hình thành dù đối tượng không di chuyển rất chậm.



Hình 4.13: Tín hiệu tạo ra bởi cảm biến điện trở từ

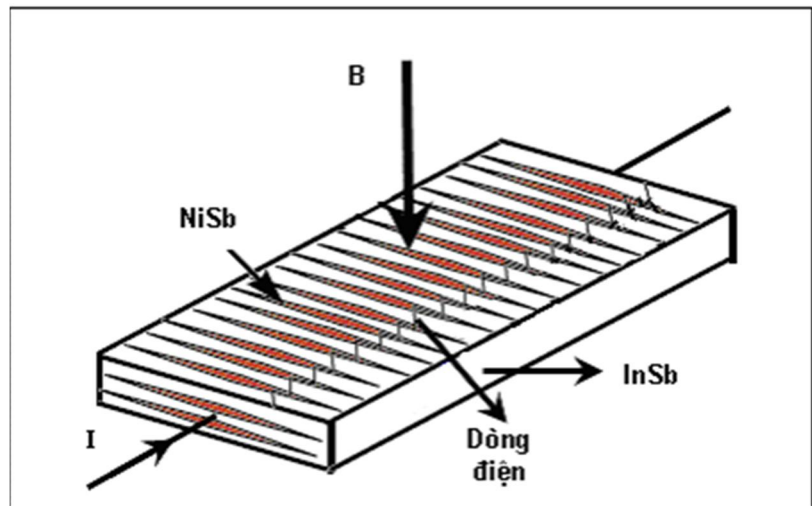
### a. Cảm biến điện trở từ với vật liệu InSb / NiSb

- **Hiệu ứng điện trở từ với vật liệu InSb / NiSb**

Vật liệu bán dẫn InSb với liên kết III – V có độ linh động rất lớn.

Trong vật liệu bán dẫn, dưới tác dụng của từ trường hướng dịch chuyển của các điện tích bị lệch đi 1 góc  $\alpha$   $\text{tg} \alpha = \mu \cdot B$ . Do sự lệch này đoạn đường dịch chuyển của electron dài hơn. Kết quả là điện trở cảm biến gia tăng dưới tác dụng của từ trường. Để hiệu ứng này có thể sử dụng trong thực tế, góc cần phải lớn. Trong kim loại, góc này rất bé. Với germanium góc lệch này khoảng  $20^\circ$  trong Indiumantimon do độ linh động của electron rất cao nên góc lệch =  $80^\circ$  với  $B = 1\text{T}$ .

Để tạo con đường dịch chuyển của electron càng dài càng tốt dưới tác dụng của từ trường, như vậy ngõ ra sẽ có sự thay đổi điện trở lớn hơn, cảm biến được kết cấu như hình. Nhiều phiến InSb (bề rộng vài  $\mu\text{m}$ ) được ghép nối tiếp nhau. Giữa các phiến này là các màng kim loại.



Hình 4.14: Kết cấu cảm biến điện trở từ với vật liệu InSb/ NiSb

Trong thực tế với kỹ thuật luyện kim người ta tạo ra các cây kim bằng Nickelantimon nằm bên trong InSb có chiều song song với hai cực điện. Cho mục đích này, một ít NiSb được cho vào trong InSb chảy lỏng và qua các công đoạn làm nguội vô số cây kim NiSb được hình thành bên trong InSb. Các cây kim này có đường kính khoảng  $1 \mu\text{m}$  và dài  $50 \mu\text{m}$ . Các cây kim này dẫn điện rất tốt và hầu như không có điện áp nơi trên nó.

Mật độ điện tích phân bố không đều trong InSb do tác dụng của từ trường, sẽ phân bố được phân bố đều lại ở trên các cây kim. Như thế ta có sự phân bố điện tích ở nơi khởi đầu vùng 1 giống như ở nơi khởi đầu vùng 2.

Điện trở từ có thể coi như 1 hàm của cảm ứng từ theo cách tính gần đúng  $R_B = R_0(1 + k \mu^2 \cdot B^2)$

$k$  là hằng số vật liệu có trị số khoảng 0,85.

Điện trở cảm biến nằm trong khoảng 10 -500  $\Omega$ . Diện tích cắt ngang của bán dẫn càng nhỏ càng tốt, tuy nhiên chiều rộng không thể nhỏ hơn 80  $\mu\text{m}$ .

### b. Cảm biến điện trở từ với vật liệu permalloy

- **Hiệu ứng điện trở từ với vật liệu permalloy**

Một màng mỏng vật liệu sắt từ gọi là permalloy (20% Fe, 80% Ni).

- Khi không có sự hiện diện của từ trường, vectơ từ hóa bên trong vật liệu nằm song song với dòng điện.

- Với 1 từ trường nằm song song với mặt phẳng màng mỏng nhưng thẳng góc với dòng điện, vectơ từ hóa sẽ quay đi 1 góc  $\alpha$ . Kết quả là điện trở của permalloy thay đổi theo  $\alpha$ .

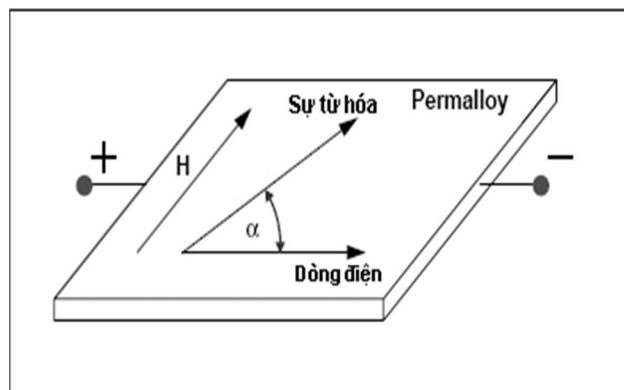
$$R = R_0 + \Delta R_0 \cos^2 \alpha$$

$$\rightarrow \alpha = 0^\circ \rightarrow R_{\max}$$

$$\rightarrow \alpha = 90^\circ \rightarrow R_{\min}$$

$R_0$  và  $\Delta R_0$  là các thông số phụ thuộc vào chất liệu permalloy.

$\Delta R_0$  khoảng 2 đến 3% của  $R_0$ .



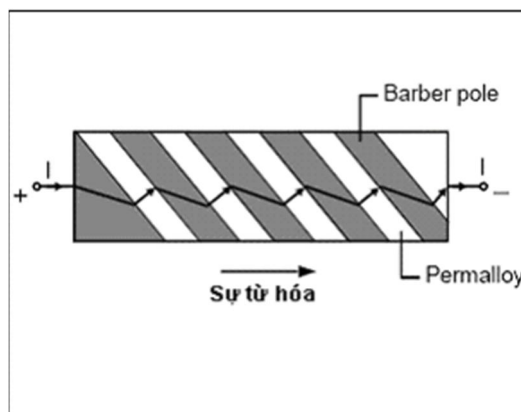
Hình 4.15: Hiệu ứng điện trở từ trên permalloy

Nguyên tắc này được ứng dụng để đo tốc độ quay và góc quay.

- **Tuyến tính hóa đặc tính của cảm biến**

Theo phương trình bậc 2:  $R = R_0 + \Delta R_0 \cos^2 \alpha$  thì điện trở cảm biến điện trở từ không tuyến tính (xem đặc tuyến a hình 4.17). Để 1 cảm biến tiện lợi trong sử dụng thì tốt nhất là đặc tuyến của nó tuyến tính, vì vậy biện pháp thiết kế tốt hơn là điều cần thiết.

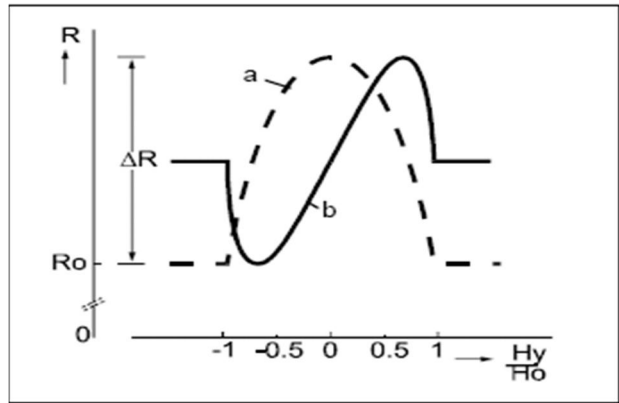
Hiệu ứng điện trở từ có thể được tuyến tính hóa bằng cách đặt 1 màng mỏng nhôm gọi là (barber poles) lên trên màng mỏng permalloy với góc  $45^\circ$  so với trục của màng mỏng (như hình 4.16). Nhôm có tính chất dẫn điện tốt hơn so với permalloy, barber poles làm thay đổi góc của dòng điện  $45^\circ$ . Như vậy góc giữa dòng điện và vectơ sự từ hóa từ  $\alpha$  thành  $(\alpha - 45^\circ)$ . Hình 4.17 biểu diễn ảnh hưởng của barber poles lên đặc tính của cảm biến điện trở từ.



Hình 4.16

Để tạo nên một cảm biến hoàn chỉnh cầu Wheatstone với 4 cảm biến điện trở từ được sử dụng. Trong đó cặp cảm biến đối diện nhau qua đường chéo sẽ có cùng “sự định hướng”. Điều này có nghĩa là 1 cặp cảm biến có barber poles tạo với trục mặt phẳng màng 1 góc  $+45^{\circ}$  và 1 cặp có barber poles tạo với trục mặt phẳng màng 1 góc  $-45^{\circ}$ .

Điều này làm cho biên độ tín hiệu ra tăng lên 2 lần và vẫn đảm bảo sự tuyến tính. Bên cạnh đó ảnh hưởng của nhiệt độ trong cầu điện trở sẽ được bù qua lại.



Hình 4.17: Ảnh hưởng của barber poles lên đặc tính của cảm biến điện trở từ.

a: Đặc tuyến R-H của cảm biến loại tiêu chuẩn

b: Đặc tuyến R-H của cảm biến loại có barber poles

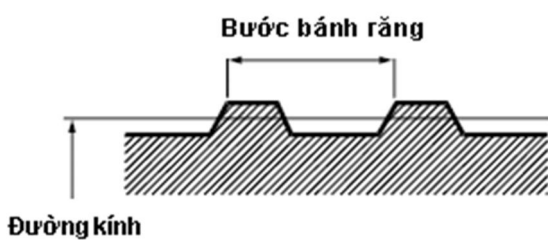
### c. Đặc điểm của việc đo tốc độ với cảm biến điện trở từ

Cảm biến điện trở từ không thể đo trực tiếp tốc độ quay mà chỉ phát hiện sự chuyển động của các bánh răng làm từ vật liệu chứa sắt (đối tượng thụ động) và hoặc đối tượng quay có các cực nam châm thay đổi tuần tự ( đối tượng tích cực, xem hình)

#### ▪ Đối tượng “thụ động”

Đặc điểm hoạt động của cảm biến với đối tượng thụ động được mô tả ở hình 4.13.

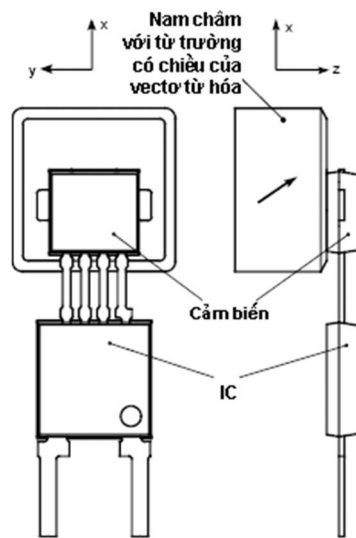
Cảm biến cần được gắn với 1 nam châm vĩnh cửu.



Hình 4.18. Cấu trúc đối tượng (hình tròn)

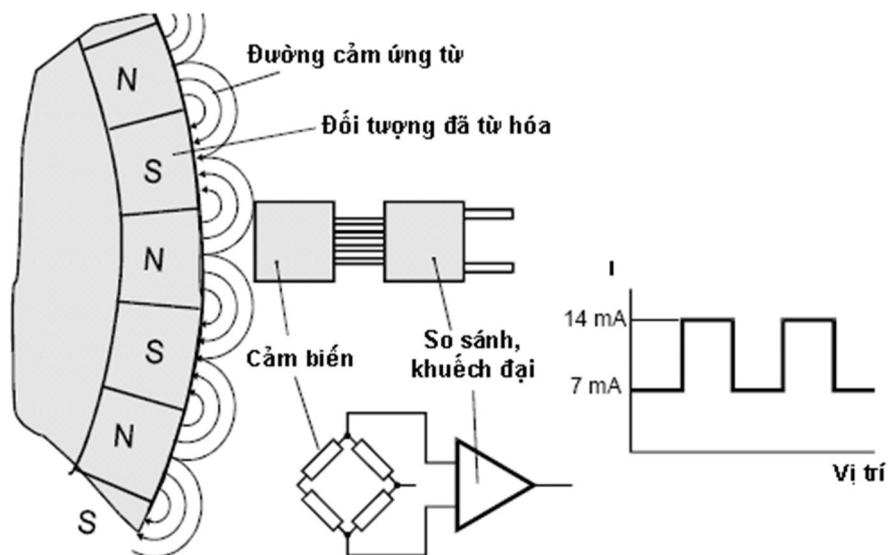
Ký hiệu	Miêu tả	Đơn vị
z	Số lượng răng	
d	Đường kính	mm
m	$m = d/z$	mm
p (bước bánh răng)	$p = \pi \cdot m$	mm

Các thông số đặc trưng của đối tượng (theo tiêu chuẩn DIN)



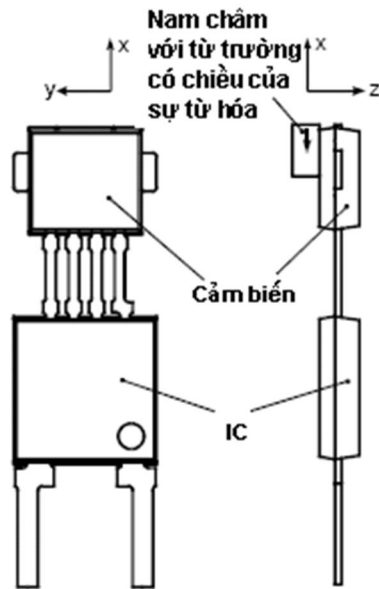
Hình 4.19: Các thành phần chi tiết của cảm biến KMI 15/1 của hãng Philips Semiconductors với đối tượng thụ động.

- **Đối tượng “tích cực”**



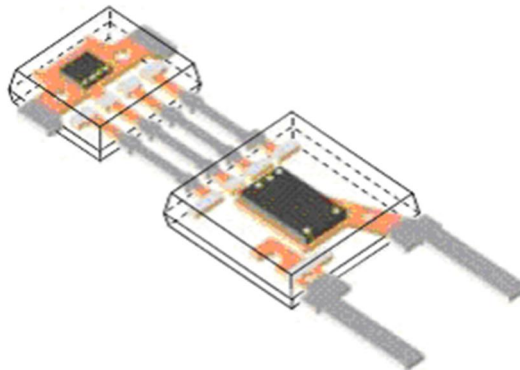
Hình 4.20

Đối tượng tích cực cung cấp vùng “làm việc”. Do đó không cần nam châm cho cảm biến để hoạt động. Tuy nhiên để cảm biến hoạt động ổn định không chịu tác động không theo ý muốn, một nam châm nhỏ vẫn được dùng trong cảm biến.

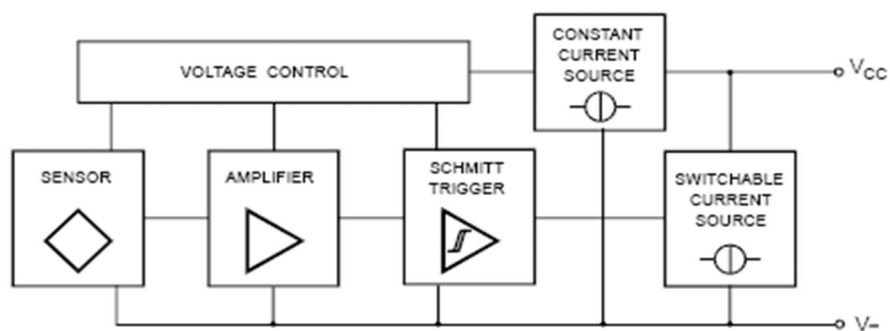


Hình 4.21: Các thành phần chi tiết của cảm biến KMI 15/2 của hãng Philips Semiconductors với đối tượng “tích cực”

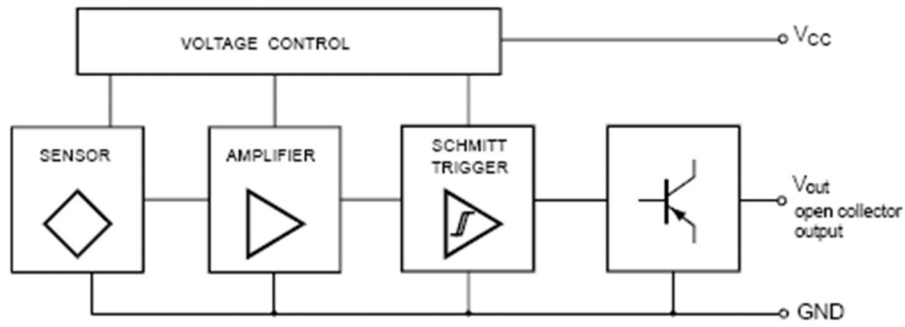
Cảm biến đo tốc độ quay KMI15/x và KMI16/x do hãng Philips Semiconductors sản xuất sử dụng hiệu ứng điện trở từ. Cấu tạo của cảm biến bao gồm bộ phận cảm biến điện trở từ, nam châm vĩnh cửu và tích hợp cả mạch điều chỉnh tín hiệu. Bộ phận điều chỉnh tín hiệu có chức năng khuếch đại ( với KMI15/x) và chuyển đổi tín hiệu thành dạng digital (với KMI16/x).



Hình 4.22: Cấu trúc loại cảm biến KMI



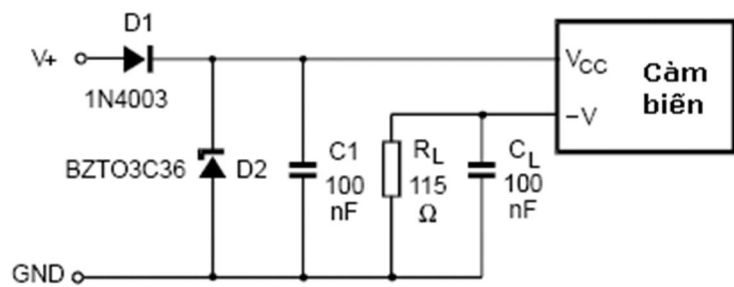
Hình 4.23: Sơ đồ khối của cảm biến KMI15/x



Hình 4.24: Sơ đồ khối của cảm biến KMI16/x

• **Mạch ứng dụng**

Việc dùng cảm biến KMI15/x trong các ứng dụng thực tế cần được lắp đặt như hình bên để có thể khử nhiễu và bảo vệ cảm biến trong trường hợp cực tính nguồn bị lắp sai.



**2. Cảm biến đo góc với tổ hợp có điện trở từ**

*Mục tiêu: Trình bày được các đặc trưng và nguyên lý làm việc của cảm biến đo góc với tổ hợp có điện trở từ.*

**2.1. Nguyên tắc**

Từ công thức cơ bản

$$R = R_0 + \Delta R_0 \cos^2 \alpha$$

Ta có thể giữa R và  $\alpha$  có sự liên hệ gần đúng

$$R \approx 2\alpha$$

Dựa trên nguyên tắc này, cảm biến có thể đo góc mà không cần sự tiếp xúc

**2.2. Các loại cảm biến KM110BH/2 của hãng Philips Semiconductor**

Loại cảm biến KM110BH/21 có hai dạng KM110BH/2130 và KM110BH/2190. Tuy có thang đo khác nhau nhưng có mạch điện như nhau.

KM110BH/2130 được chế tạo với thang đo hơn để có độ khuếch đại lớn hơn, đo từ  $-15^0$  đến  $+15^0$ . Tín hiệu ra tuyến tính (độ phi tuyến chỉ 1%).

KM110BH/2190 đo từ  $-45^0$  đến  $+45^0$ . Tín hiệu ra hình sin.

Cả hai cảm biến đều có tín hiệu ra analog.



Ngoài hai cảm biến này còn có các cảm biến thiết kế KM110BH/23 KM110BH/24

\* Bảng thông số một số cảm biến KM110BH

Thông số	KM110BH						Đơn vị
	2130	2190	2270	2390	2430	2470	
Thang đo	30	90	70	90	30	70	0,001
Điện áp ra	0,5 tới 4,5	0,5 tới 4,5	0,5 tới 4,5	0,5 tới 4,5	0,5 tới 4,5	0,5 tới 4,5	V
Dòng điện ra			4 tới 20				mA
Đặc tuyến ngõ ra	Tuyến tính	Hình sin	Hình sin	Tuyến tính	Tuyến tính	Hình sin	
Điện áp hoạt động	5	5	8,5	5	5	5	V
Nhiệt độ hoạt động	-40 tới +120	-40 tới +120	-40 tới +120	-40 tới +120	-40 tới +120	-40 tới +120	°C
Độ phân giải	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	Độ

Các loại cảm biến KM110BH/2270 có thang đo từ -35<sup>0</sup> đến +35<sup>0</sup>, có thể sử dụng một điện trở để chuyển sang dạng điện áp.

### 2.3. Các loại cảm biến KMA10 và KMA20

Cảm biến KMA10 và KMA20 là loại cảm biến đo góc (không cần tiếp xúc) được thiết kế để có thể hoạt động trong môi trường khắc nghiệt hơn. Được ứng dụng trong lĩnh vực tự động và công nghiệp.

Hai loại cảm biến KMA10 và KMA20 được thiết kế và phát triển bởi sự hợp tác giữa Philips Semiconductor và AB Electronic.

KMA10 cho tín hiệu ra dưới dạng dòng điện (KMA10/70 phát triển từ loại KM110BH/2270).

KMA20 cho tín hiệu ra dưới dạng điện áp. KMA20/30 phát triển từ loại KM110BH/2430, KMA20/70 phát triển từ loại KM110BH/2470,

KMA20/90 phát triển từ loại KM110BH/2390. Tuy nhiên tín hiệu từ KMA20/30 thì tuyến tính và từ KMA20/70 thì hình sin.

\* Bảng thông số một số cảm biến KMA

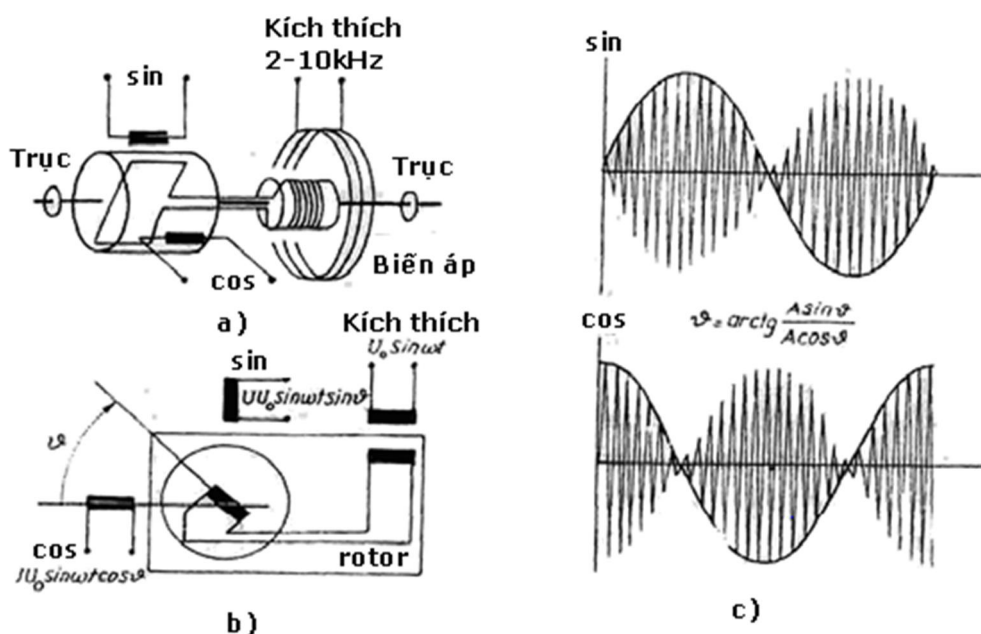
Thông số	KMA10/70	KMA20/30	KMA20/70	KMA20/90	Đơn vị
Thang đo	70	90	70	90	0,001
Điện áp ra	-	0,5 tới 4,5	0,5 tới 4,5	0,5 tới 4,5	V
Dòng	4 tới 20	-	-	-	mA

điện ra					
Đặc tuyến ngõ ra	Hình sin	Tuyến tính	Hình sin	Tuyến tính	
Điện áp hoạt động	8,5	5	5	5	V
Nhiệt độ hoạt động	-40 tới +100	-40 tới +125	-40 tới +125	-40 tới +125	<sup>0</sup> C
Độ phân giải	0,001	0,001	0,001	0,001	Độ

### 3. Máy đo góc tuyệt đối (Resolver)

*Mục tiêu: Trình bày được các đặc trưng và nguyên lý làm việc của máy đo góc tuyệt đối.*

Máy đo góc tuyệt đối có cấu tạo gồm hai phần: phần động gắn liền với trục quay động cơ chứa cuộn sơ cấp được kích thích bằng sóng mang tần số 2-10Khz qua máy biến áp quay (hình 4.30 a). Phần tĩnh có 2 dây quấn thứ cấp (cuộn sin và cuộn cos) đặt lệch nhau 90<sup>0</sup>. Đầu ra của hai dây quấn thứ cấp ta thu được 2 tín hiệu điều biên  $UU_0\sin\omega t\sin\vartheta$  và  $UU_0\sin\omega t\cos\vartheta$  (hình 4.30 b). Đường bao của kênh tín hiệu ra chứa thông tin về vị trí tuyệt đối (góc $\vartheta$ ) của rotor máy đo, có nghĩa là vị trí tuyệt đối của rotor động cơ (hình 4.30 c).



Hình 4.30: Máy đo góc tuyệt đối  
a) cấu tạo b) sơ đồ nguyên lý c) hai kênh tín hiệu ra

Có 2 cách thu thập thông tin về  $\vartheta$ :

- Hiệu chỉnh sửa sai góc thu được trên cơ sở so sánh góc và được cài đặt sẵn trong 1 số vi mạch sẵn có. Các vi mạch này cho tín hiệu góc dạng số (độ phân giải 10-16 bit/1 vòng và tốc độ quay dưới dạng tương tự.
- Dùng hai bộ chuyển đổi tương tự - số để lấy mẫu trực tiếp từ đỉnh tín hiệu điều chế. Trong trường hợp này cần đồng bộ chặt chẽ giữa thời điểm lấy mẫu và khâu tạo tín hiệu kích thích 2-10 kHz.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Trọng Thuận, *Điều khiển logic và ứng dụng*, NXB Khoa học kỹ thuật 2006.
- [2] Nguyễn Văn Hòa, *Giáo trình đo lường và cảm biến đo lường*, NXB Giáo dục 2005.
- [3] Lê Văn Doanh- Phạm Thượng Hàn, *Các bộ cảm biến trong kỹ thuật đo lường và điều khiển*, NXB Khoa học và kỹ thuật 2006.
- [4] Lê Văn Doanh, *Các bộ cảm biến trong kỹ thuật đo lường và điều khiển*, NXB Khoa học và kỹ thuật 2001.
- [5] Nguyễn Thị Lan Hương, *Kỹ thuật cảm biến*, NXB Khoa học và kỹ thuật 2008.
- [6] Phan Quốc Phô, Nguyễn Đức Chiến, *Cảm biến*, NXB Khoa học và kỹ thuật 2000.