



TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHIỆP TP.HCM
KHOA CÔNG NGHỆ CƠ KHÍ

TS. ĐÀO THÁI DIỆU

Giáo trình

Kỹ thuật cảm biến đo lường & điều khiển



LƯU HÀNH NỘI BỘ

2008

TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHIỆP TP.HCM
GIÁO TRÌNH GỐC

**BỘ CÔNG THƯƠNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHIỆP TP. HỒ CHÍ MINH**

KHOA CƠ KHÍ

~~Giảng viên~~ **Đào Thái Diệu, TS.**

TẬP BÀI GIẢNG

**KỸ THUẬT CẢM BIẾN
ĐO LƯỜNG VÀ ĐIỀU KHIỂN**

cuu duong than cong . com

TP. HỒ CHÍ MINH, 2008

DẪN NHẬP

Tập bài giảng “Kỹ thuật Cảm biến Đo lường và Điều khiển” được biên soạn theo chương trình đào tạo đại học các chuyên ngành kỹ thuật.

Mục tiêu biên soạn tập bài giảng này nhằm giúp sinh viên có tài liệu học tập môn học “Kỹ thuật cảm biến đo lường các đại lượng không điện” bên cạnh các tài liệu tham khảo khác theo hướng dẫn của giảng viên để nắm được những nội dung truyền đạt trên lớp một cách tích cực, kết hợp những dẫn giải và hệ thống hoá vấn đề của giảng viên với những nghiên cứu thảo luận chuyên đề seminar của lớp học.

Với nhận thức rằng môn kỹ thuật cảm biến đo lường liên quan hầu hết các lĩnh vực kiến thức cơ bản mà sinh viên các ngành đại học kỹ thuật đã hoặc đang tiếp thụ trong chương trình học, một số phần liên quan chủ yếu được đưa vào các phụ lục cuối tập bài giảng này để sinh viên tự đọc ôn lại và hệ thống hoá kiến thức đã học trong những môn khác. cuuduongthancong.com

Là một tập bài giảng, tài liệu được chia thành các bài giảng, dựa theo chương trình giảng dạy môn học là 3 tín chỉ (tương đương 45 tiết lên lớp và 45 tiết tự học của SV). Việc bố trí chương trình giảng dạy phù hợp là tùy ở giảng viên, tuy nhiên, thời lượng mỗi bài giảng ở đây tính cho 4 tiết lên lớp (không kể kiểm tra và ôn luyện). Và đó cũng chỉ là khuyến nghị.

Những nội dung tập hợp trong tập bài giảng này được thực hiện trên cơ sở những tài liệu cập nhập, nêu trong mục “Tài liệu tham khảo”, phù hợp với những bài giảng trên lớp theo chương trình, đề cương môn học của nhà trường. Tuy nhiên, do những hạn chế nhất định, việc tập hợp trình bày trong một tập sách có thể còn nhiều khiếm khuyết. Rất mong các đồng sự, đồng nghiệp giúp đỡ góp ý chỉnh lý và nhất là những sinh viên mà tập bài giảng này nhằm hướng tới.

Đào Thái Diệu, 01.2008’.

BÀI 1

CƠ SỞ KỸ THUẬT CẢM BIẾN ĐO LƯỜNG.

Chương 1. KHÁI NIỆM CHUNG.

Mục tiêu bài này tập trung vào những khái niệm cơ bản và những vấn đề tổng quát của kỹ thuật cảm biến đo lường ứng dụng – gồm chương 1.

Nội dung cơ bản mà SV phải nắm được ở bài này là những vấn đề trọng tâm sau:

- Khái niệm tổng quát về hệ thống thông tin đo lường và điều khiển cùng những phần tử cấu thành cơ bản của nó, hoạt động chức năng, các đặc tính kỹ thuật, đặc điểm ứng dụng. Đặc biệt cần nắm vững và hiểu được bản chất các định nghĩa khái niệm, đặc tính vận hành, hệ thống hoá trong phân loại phần tử, tư duy logic trong kỹ thuật ứng dụng.
- Các vấn đề ứng dụng thực tiễn các phần tử cảm biến trong hệ thống tin đo lường và điều khiển. Có nhận thức và rèn kỹ năng tổng hợp, thiết kế và chế tạo hệ thống cụ thể trong thực tế môi trường ứng dụng.
- Các từ khóa, thuật ngữ và ý nghĩa của nó trong phần này (và tiếp về sau) đóng vai trò quan trọng trong những bài kiểm tra và thi trắc nghiệm lý thuyết nói chung.
- **Thời lượng** bài giảng là 04 tiết/45 tiết lên lớp theo chương trình môn học là 03TC (45 tiết) và 04 tiết tự nghiên cứu.

1.1 – Khái niệm hệ thống đo lường và điều khiển.

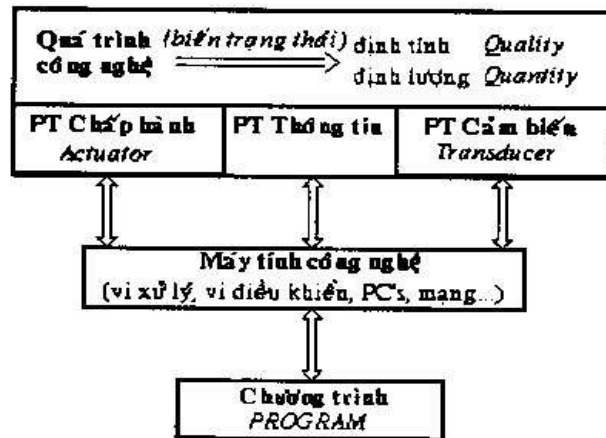
Ngày nay, khó có một ngành kỹ thuật nào không bao gồm kỹ thuật đo lường và điều khiển tự động, mà trong đó các phần tử cảm biến đo lường thường đóng vai trò tiên quyết. Ứng dụng điển hình là

trong các dây chuyền công nghệ cơ khí chế tạo, các máy tự động trong sản xuất, gia công gỗ, kim loại, nhựa plastics, máy móc chế biến thực phẩm, các loại máy in và đóng gói sản phẩm, vv ...

Sự phát triển của kỹ thuật đo lường và điều khiển hiện đại dựa trên cơ sở những tiến bộ khoa học của nhiều ngành lý thuyết cơ bản cũng như những tiến bộ công nghệ trong kỹ thuật ứng dụng. Đặc biệt, tiến bộ kỹ thuật công nghệ đã đưa đến sự thống nhất chuẩn hoá trong chế xuất các linh kiện, các phần tử tự động, các khối chức năng module ... Trong nhiều lĩnh vực khác nhau cũng có nhiều trường hợp sử dụng những bộ phận, phần tử tự động chức năng như nhau. Ví dụ, các hệ cảm biến vị trí và điều khiển các vật thể dịch chuyển với độ chính xác cao được ứng dụng rộng rãi trong các ngành như giao thông vận tải, hàng hải, hàng không, cứu hộ (định vị tàu thuyền, xe máy và máy bay, điều khiển các hệ dự phòng và truyền tải nặng ...), cũng như trong các ngành thông tin liên lạc viễn thông, thiên văn vũ trụ (dùng để điều chỉnh vị trí của các antenna radio, radar, các hệ viễn vọng thiên văn, ...).

Nói chung, các phần tử cảm biến không hoạt động tự thân. Chúng là một bộ phận của một hệ lớn bao gồm cả các bộ chuẩn hoá tín hiệu và các mạch xử lý tín hiệu số và tương tự khác nhau. Nói ví dụ, hệ thống có thể là hệ đo lường, hệ thu thập dữ liệu, hay hệ điều khiển quá trình công nghệ. Ở đây, chúng ta tập trung vào các phần tử cảm biến trong hệ đo lường và điều khiển quá trình công nghệ. Hình 1.1 giới thiệu mô hình điều khiển tự động quá trình công nghệ, được thực hiện bởi một hệ thông tin đo lường điều khiển.

cuu duong than cong . com



Hình 1.1 – Mô hình điều khiển tự động quá trình công nghệ.

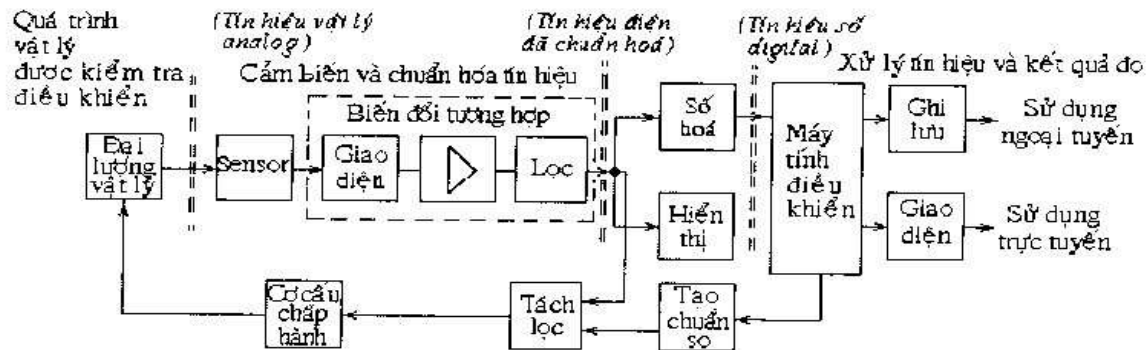
Quá trình công nghệ là một hệ vật lý được mô tả bởi các biến trạng thái. Các biến này đặc trưng định tính *qualitative* và định lượng *quantative* cho quá trình công nghệ bởi các phương trình mô tả quan hệ toán-lý và các số liệu đo thực nghiệm. Quá trình công nghệ được điều khiển (hoặc điều chỉnh) bởi một hệ thống đo lường và điều khiển tự động, hoạt động theo một chương trình *program* định sẵn, trên cơ sở các dữ liệu thu nhận được từ các bộ phận, phần tử cảm biến đo lường *transducers* và tính năng của các phần tử cơ cấu tác hoạt chấp hành *actuators*.

Như vậy, hệ thống thông tin đo lường và điều khiển là tập hợp phương tiện kỹ thuật với chức năng chung và hoạt động theo một chương trình chung, thu nhận thông tin từ đối tượng (đo lường, biến đổi, hiển thị hay lưu trữ) và xử lý tiếp theo để thực hiện những mục tiêu chức năng hệ thống (điều khiển, hiệu chỉnh hay theo dõi giám sát).

Những năm gần đây, sự phát triển công nghệ điện tử-tin học-viễn thông đã có những bước tiến căn bản về hiệu suất tính toán, dung lượng nhớ, tốc độ xử lý và truyền dẫn dữ liệu ... cũng như những phát triển phần mềm ứng dụng. Cùng với sự hình thành và phát triển mạng viễn thông Internet, các mạng máy tính (cục bộ và cả diện rộng) cũng được sử dụng cho các hệ đo lường và điều khiển, ứng dụng chủ yếu là

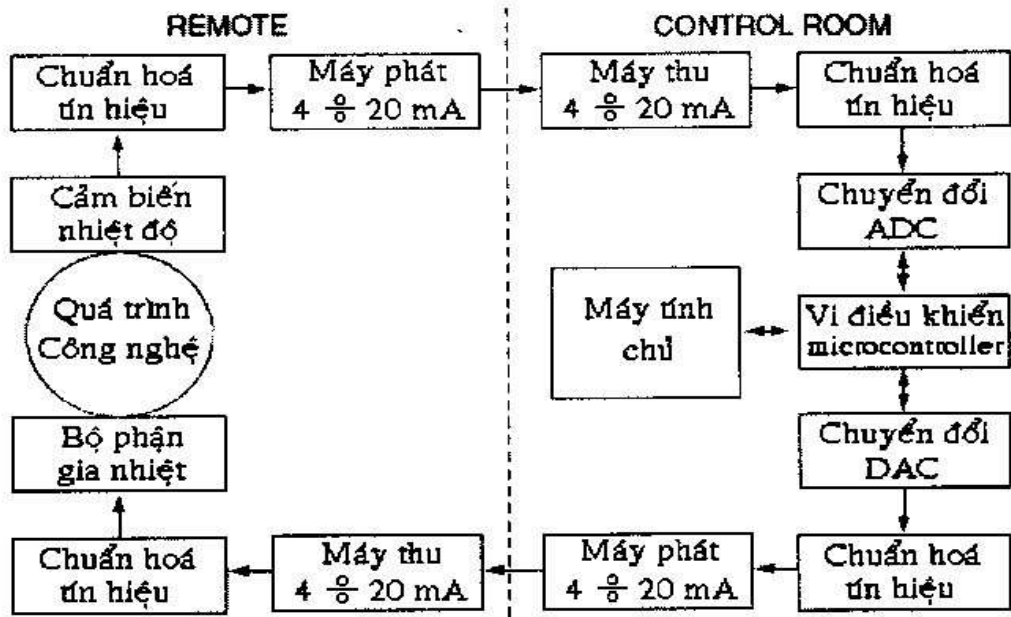
thu thập và xử lý dữ liệu nhằm tự động điều chỉnh / điều khiển quá trình công nghệ cũng như theo dõi giám sát trạng thái quá trình.

Hình 1.2 giới thiệu cấu trúc điển hình của một hệ cảm biến đo lường và điều khiển.



Hình 1.2 – Cấu trúc điển hình một hệ cảm biến đo lường và điều khiển tự động.

Ứng dụng cảm biến trong một hệ điều khiển quá trình điển hình được trình bày trong hình 1.3. Giả thiết thuộc tính vật lý cần điều khiển là nhiệt độ. Đầu ra của cảm biến nhiệt độ được chuẩn hoá và rồi số hoá bằng chuyển đổi ADC. Bộ vi điều khiển microcontroller hay máy tính chủ xác định liệu nhiệt độ có cao hơn hay thấp hơn giá trị mong muốn, và xuất tín hiệu tới chuyển đổi số-tương tự (DAC). Đầu ra DAC được chuẩn hoá và điều khiển cơ cấu chấp hành *actuator*, trong trường hợp này là một bộ gia nhiệt *heater*. Lưu ý rằng giao diện giữa trung tâm điều khiển và quá trình điều khiển từ xa là thông qua mạng tiêu chuẩn công nghiệp 4-20 mA.

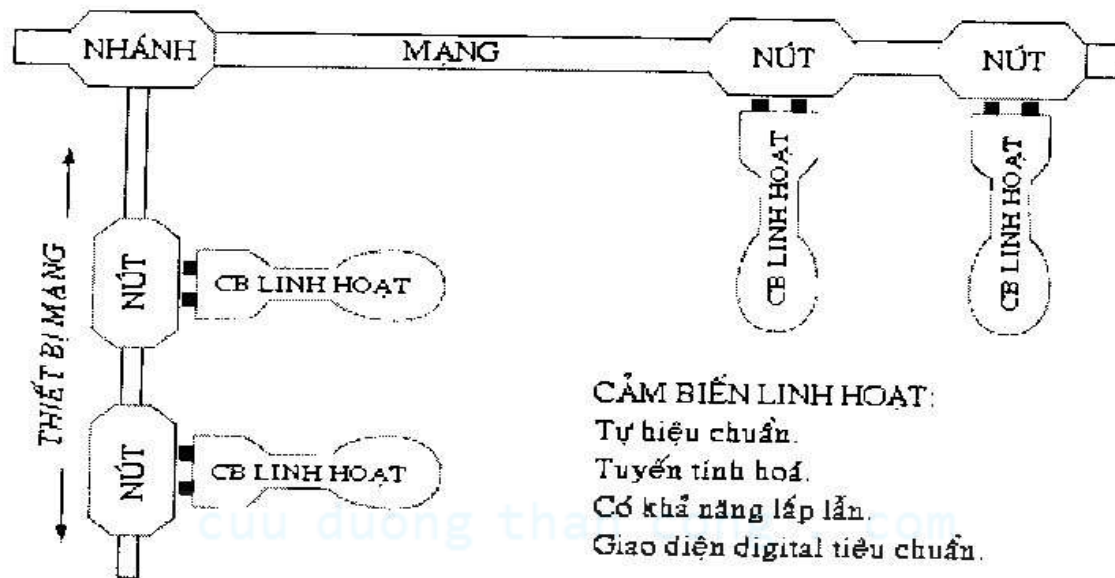


Hình 1.3 – Mạch điều khiển một quá trình công nghiệp điển hình.

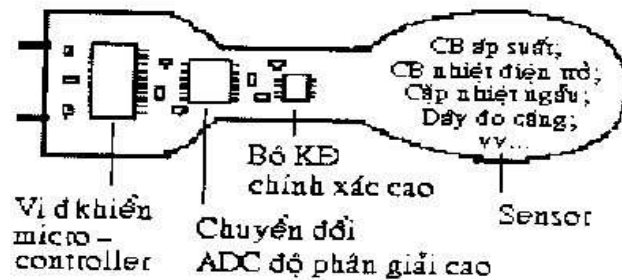
Kỹ thuật số đã trở thành phổ biến trong việc xử lý các đầu ra cảm biến trong thu thập dữ liệu đo lường, điều khiển quá trình và các phép đo. Nói chung, các vi điều khiển 8-bit (ví dụ 8051) có tốc độ và dung lượng xử lý thích đáng đối với hầu hết các ứng dụng. Bằng cách gộp thêm chuyển đổi A/D và tính năng lập trình vi điều khiển tự bên trong cảm biến, có thể tạo nên một cảm biến linh hoạt “*smart sensor*” với các tiện ích tự chuẩn định và tuyến tính hoá trong số nhiều tiện ích khác. Khi đó, một cảm biến linh hoạt có thể giao diện trực tiếp với một mạng công nghiệp như trình bày trong hình 1.4.

Hình 1.5 trình bày các khối cấu tạo cơ bản của một “cảm biến linh hoạt”, được cấu hình với các vi mạch tích hợp đa thành phần. Loạt sản phẩm MicroConverter của hãng Analog Devices bao gồm on-chip các bộ đổi nối multiplexers tính năng hoạt động cao, các chuyển đổi tương tự-số (ADCs) và số-tương tự (DACs), ghép với bộ nhớ Flash và một lõi vi điều khiển tiêu chuẩn công nghiệp 8052, cũng như giải pháp mạch hỗ trợ và vài cấu trúc cổng nối tiếp tiêu chuẩn.

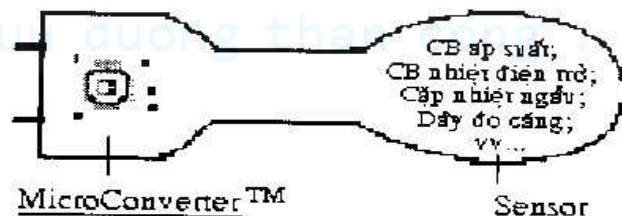
Đó là những vi mạch tích hợp đầu tiên thực sự là những hệ thu thập dữ liệu cảm biến linh hoạt (các mạch chuyển đổi tín hiệu, vi điều khiển, bộ nhớ Flash tính năng hoạt động cao) trong một con chip đơn (xem hình 1.6).



Hình 1.4 – Tiêu chuẩn hoá giao diện số dùng cảm biến linh hoạt.



Hình 1.5 – Các phần tử cơ bản trong cảm biến linh hoạt.



Hình 1.6 – Một cảm biến thậm chí còn linh hoạt hơn.

1.2 – Các phần tử chủ yếu của hệ thống.

Sự gia tăng yêu cầu về độ chính xác, độ an toàn chất lượng sản phẩm và hiệu quả công nghệ dẫn tới những tiến bộ kỹ thuật cơ bản làm tăng độ chính xác, độ tin cậy và tốc độ tác hoạt cao của các phương tiện kỹ thuật đo lường và điều khiển. Phương tiện kỹ thuật trong hệ đo lường điều khiển là tập hợp các thiết bị tự động đo lường, tự động điều khiển và tự động xử lý thông tin theo một chương trình nhất định, được gọi chung là các phần tử tự động.

Ở đây chúng ta phân biệt ba dạng phần tử tự động chủ yếu:

- Phần tử cảm biến *Transducer*, trong đó gồm có:
 - Phần tử cảm biến tham số (R,L,C);
 - Phần tử cảm biến vật lý (nhiệt-điện, quang-điện, áp-điện, ...).
- Phần tử chấp hành *Actuator*, trong đó gồm có:
 - Các phần tử chấp hành dạng máy điện;
 - Các phần tử chấp hành dạng cơ cấu điện-cơ.
 - Các phần tử chấp hành thủy-khí.
- Phần tử thông tin, đặc trưng là:
 - Tacho-generator;
 - Selsyn;
 - Biến áp quay;
 - Các phần tử khuếch đại (khuếch đại từ, khuếch đại máy-điện, khuếch đại điện tử, ...).
 - ...

Phần tử cảm biến *Transducers*. Cảm biến đo lường, ngày nay thường gọi là kỹ thuật cảm biến *sensorstechnique*, được hiểu như kỹ thuật thu nhận và biến đổi thông tin trạng thái, là một bộ phận thành phần quan trọng trong hệ điều khiển tự động.

Các biến trạng thái đặc trưng cho hệ thống và quá trình thường là các đại lượng không điện, như nhiệt độ, áp suất, ứng lực, tốc độ, moment vv... Các phần tử cảm biến nhạy cảm đối với những đại lượng vật lý khác nhau. Phần tử cảm biến thu nhận giá trị của đại lượng vật lý, với sự biến thiên theo thời gian của nó, chuyển đổi thành các đại lượng điện để có thể gia công xử lý, hiển thị hoặc lưu nhớ, truyền dẫn và xử lý tiếp nhằm điều khiển quá trình. Chủ yếu đại lượng đầu ra của các sensor là điện áp hoặc dòng điện, nhưng cũng có thể là tần số hay điện trở, điện kháng.

Ở đây, ta gọi chung là phần tử cảm biến. Theo nghĩa rộng, phần tử cảm biến *transducer* là thiết bị hay bộ phận thiết bị cảm nhận và đáp ứng với các kích thích từ đại lượng đo, được đặc trưng như một khâu chức năng trong hệ thống đo lường và điều khiển, một mạng hai cửa nói chung (hình 1.7).

Cảm biến và các mạch kết hợp của nó được dùng để đo lường các thuộc tính vật lý khác nhau như nhiệt độ, lực, áp suất, lưu lượng dòng chảy, vị trí, cường độ sáng, vv... Các tính chất này tác động như kích thích tới cảm biến, và đầu ra của cảm biến được chuẩn hoá và xử lý để cung cấp số đo phù hợp của thuộc tính vật lý đó. Các transducers hiện đại thường được phối ghép bộ phận cảm biến đo lường với bộ phận chuẩn hoá tín hiệu *conditioner* và các bộ phận vi tính khác (như microprocessor hay microcontroller) để hiệu chỉnh hoặc tuyến tính hoá, xác định các ảnh hưởng nhiễu, xác định nguồn sai số và khử hoặc giảm thiểu chúng, cũng như để đưa tới các bộ phận điều khiển khác (như các phần tử chấp hành *actuators* ...).

Như vậy, đầu ra của các phần tử transducers thường là tín hiệu đã được chuẩn hoá, có thể trực tiếp đưa tới giao diện với các khối cấu thành hệ thống khác, thường là qua các tuyến bus truyền dẫn, hoặc xử lý, hiển thị trực tiếp.

Nói một cách nghiêm chỉnh thì cảm biến *sensor* là một dụng cụ chuyển đổi tín hiệu kích thích (thể hiện một thuộc tính vật lý) thành tín

hiệu điện; trong khi biến cảm *transducer* là bộ chuyển đổi một dạng năng lượng thành năng lượng dạng khác. Tuy nhiên trong thực tế, các thuật ngữ này được sử dụng một cách trao đổi được.

Các phần tử cảm biến được phân loại theo nhiều tiêu chuẩn khác nhau.

Về bản chất vật lý, các cảm biến được phân loại là phần tử cảm biến tích cực hay thụ động.

Các phần tử tích cực tác hoạt như một nguồn (nguồn áp hay nguồn dòng), không phải cung cấp nguồn năng lượng phụ. Những phần tử này được biểu diễn dưới dạng mạng hai cửa có nguồn trong. Các phần tử tích cực điển hình là các phần tử cảm biến vật lý như cảm biến nhiệt-điện *thermoelements*, cặp nhiệt ngẫu *thermocouples*, các hệ điện-động *electro-magnetic generators*, phần tử quang-điện *photoelements*, tinh thể áp-điện *piezocrystal*, vv...

Các phần tử thụ động tiêu thụ năng lượng từ nguồn phụ hoặc lấy từ biến kích thích đầu vào để biến đổi thành tín hiệu đầu ra. Những phần tử thụ động được biểu diễn dưới dạng mạng hai cửa không nguồn, có trở kháng trong phụ thuộc kích thích đầu vào. Điển hình là các phần tử cảm biến tham số như đầu dò biến trở (chiết áp *potentiometers*, biến trở hệ số nhiệt âm hay dương NTC- / PTC-, băng đo biến dạng DMS, biến trở quang *photoresistances*, ...); cảm biến điện dung (tụ xoay / tụ bản cực phẳng ...); cảm biến điện cảm; cảm biến từ tính, vv...

Như vậy, chúng ta phân loại dạng phần tử tích cực hay thụ động là theo quan điểm biến đổi năng lượng tự thân của phần tử cảm biến.

Điều cần lưu ý là cho tới nay, mặc dù sự phân biệt về tính tích cực và tính thụ động là rõ ràng và khá thống nhất, nhưng trong các tài liệu khác nhau có nhiều cách nhìn nhận khác nhau (thậm chí ngược lại) khi phân loại đối tượng là thụ động hay tích cực. Ví như có quan niệm phần tử tích cực hay thụ động như sau [000]: Một cảm biến tích cực đòi hỏi một nguồn kích thích ngoài. Các cảm biến trên cơ sở điện trở như

thermistors, RTDs (*Resistance Temperature Detectors* – các bộ cảm biến nhiệt kiểu trở kháng), và các dây đo căng (*Strain Gages*) là những ví dụ cảm biến tích cực, bởi vì dòng điện phải chạy qua chúng và đo điện áp tương ứng để xác định giá trị điện trở (cách khác là mắc dụng cụ vào một mạch cầu; tuy nhiên, trong trường hợp khác, đòi hỏi phải cung cấp dòng điện hay điện áp từ ngoài). Mặt khác, các cảm biến thụ động (*passive* hay *self-generating*) tạo ra tín hiệu điện áp ra của chính chúng mà không đòi hỏi dòng hay áp từ ngoài. Các ví dụ về cảm biến thụ động là các cặp nhiệt ngẫu *thermocouples* và diodes quang *photodiodes* tạo ra điện áp nhiệt-điện và dòng quang-điện tương ứng, không phụ thuộc vào mạch ngoài. Như vậy, người ta phân loại cảm biến trên quan điểm chuẩn hoá tín hiệu, theo nhu cầu cần thiết (hoặc không) giải pháp mạch tích cực ngoài để tạo tín hiệu điện ra từ cảm biến. Ta nêu hai cách phân loại đặc trưng, chỉ để có thể hiểu logic vấn đề (về quan niệm, không nên vì thế mà nhầm lẫn về thuật ngữ trong các tài liệu tham khảo).

Bảng 1.1 dưới đây là một tổng quan khái quát về cảm biến.

Bảng 1.1 – Các cảm biến điển hình và tín hiệu ra của chúng.

<i>Thuộc tính</i>	<i>Cảm biến</i>	<i>Tín hiệu ra</i>
Nhiệt độ	Cặp nhiệt ngẫu <i>Thermocouple</i>	Điện áp
	Silicon <i>Silicon Sensor</i>	Áp / Dòng
	Kiểu điện trở <i>RTD</i>	Điện trở
	Thermistor <i>Thermistor</i>	Trở kháng
Lực / Áp suất	Dây đo căng <i>Strain Gage</i>	Điện trở
	Áp-điện piezo- <i>Piezoelectric</i>	Điện áp
Gia tốc	Máy đo gia tốc <i>Accelerometer</i>	Điện dung
Vị trí	LVDT	Điện áp AC
Cường độ sáng	Photodiode <i>Photodiode</i>	Dòng điện

Một phương cách logic khác phân loại cảm biến là phân loại theo thuộc tính vật lý mà cảm biến được thiết kế ứng dụng như cảm

biến nhiệt độ, cảm biến áp suất, cảm biến chuyển động, vv ... Như vậy, theo nguyên lý biến đổi có thể phân loại các cảm biến như sau:

- Phần tử cảm biến tham số;
- Phần tử cảm biến vật lý.

Các phần tử cảm biến dựa trên cơ sở nguyên lý hoạt động ứng dụng các hiệu ứng vật lý như điện-từ, quang-điện, piezo, vv... biến đổi các đại lượng thông số trạng thái vật lý của quá trình công nghệ thành những thay đổi thông số điện, được gọi chung là các cảm biến vật lý nói chung (xem thêm Phụ lục 2). Trong đó, đặc biệt thông dụng các phần tử cảm biến biến đổi các đại lượng vật lý (như nhiệt độ hay ánh sáng, chuyển vị vật thể hay tác dụng lực và ứng suất ...) trực tiếp thành những thay đổi tham số điện (như điện trở hay điện dẫn, điện cảm hay hồ cảm, điện dung, ...), được gọi chung là các cảm biến tham số (xem thêm Phụ lục 1).

Phần tử (cơ cấu) tác hoạt chấp hành *Actuators*. Trong các hệ đo lường và điều khiển, bên cạnh việc thu nhận giá trị các đại lượng vật lý, gia công xử lý chúng thành các tín hiệu điện, là việc biến đổi tín hiệu thành những đại lượng khác (ví như cơ học, âm thanh hay ánh sáng ...) cho những mục đích điều khiển khống chế tiếp theo. Các cơ cấu biến đổi này được gọi là cơ cấu chấp hành. Ngày nay cũng gọi chung là các phần tử tác hoạt chấp hành *actuators*. Phần tử tác hoạt chấp hành được đặc trưng như một khâu chức năng trong hệ thống cảm biến đo lường và điều khiển, một mạng hai cửa nói chung (hình 1.7).

Thông dụng các dạng phần tử tác hoạt chấp hành sau:

- Các phần tử chấp hành dạng máy-điện, như động cơ / máy phát đồng bộ / không đồng bộ, một chiều / xoay chiều ...;
- Các phần tử chấp hành dạng cơ cấu điện-cơ, như rele, khớp nối, khởi động từ, ...
- Các phần tử chấp hành thủy-khí.

Phần tử thông tin. Trong các hệ đo lường và điều khiển còn có một kiểu dạng phần tử tự động khá đặc biệt là các phần tử thông tin. Những phần tử này có tính năng khác nhau, trong nhiều trường hợp cũng có tính năng cảm biến (như tachogenerators, selsyn, một số loại biến áp quay, ...), nhưng chung nhất là khả năng truyền đạt thông tin điều khiển trực tiếp, đồng bộ giữa các bộ phận của hệ thống. Điển hình là:

- Tacho-generator;
- Selsyn;
- Biến áp quay;
- Các phần tử khuếch đại (như khuếch đại-từ, khuếch đại máy-điện, khuếch đại thuật toán,...)

Cùng với transducers và actuators, các phần tử thông tin và mạch xử lý tiếp theo nói chung tạo nên hệ thống phương tiện biểu trưng trạng thái của một quá trình kỹ thuật hay công nghệ có điều khiển nào đó trong một hệ đo lường điều khiển thống nhất.

1.3 – Các đặc tính cơ bản.

Cảm biến sensor là một dụng cụ chuyển đổi một hiện tượng vật lý thành tín hiệu điện. Như vậy, cảm biến là một phần của giao diện giữa thế giới vật lý và thế giới kỹ thuật điện, cũng như máy tính (là một phần của giao diện giữa con người và thế giới toán tính). Phần khác của giao diện này là các cơ cấu chấp hành actuators, chuyển đổi tín hiệu điện thành tín hiệu vật lý.

Ở đây chúng ta quan tâm đến khía cạnh giao diện của thế giới vật lý và hệ đo lường điều khiển cùng những phần tử cấu thành của nó. Ngày nay, năng lực xử lý một khối lượng thông tin khổng lồ đã được phát triển trong ngành điện tử-máy tính. Ví dụ có ý nghĩa nhất về năng lực này là máy tính cá nhân và sự tồn tại của các bộ vi xử lý microprocessors, vi điều khiển microcontroller, đem lại khả năng thiết

kế chế tạo những sản phẩm gắn kết với toán tính, từ công nghệ chế tạo ô tô đến những thiết bị dân dụng như lò vi sóng, tới đồ chơi trẻ em. Vài năm lại đây các phiên bản của những sản phẩm này dùng vi xử lý trong các bộ phận điều khiển chức năng đã trở nên phổ biến rộng rãi. Trong ngành chế tạo ô tô những khả năng như thế rất cần thiết để đạt được những tính năng phù hợp với sự hạn chế về ô nhiễm môi trường. Trong những trường hợp khác, một cách đơn giản năng lực ấy đem lại những tiện ích không mấy tốn kém.

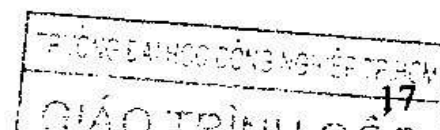
Tất cả những mạch xử lý tín hiệu, mạch biến đổi tương hợp tín hiệu – chuẩn hoá tín hiệu, kể cả các mạch toán tính tiếp theo, đều cần có tín hiệu điện đầu vào để nhận mã lệnh và dữ liệu thông tin. Như vậy, cùng với sự sẵn có các microprocessor rẻ tiền, cơ hội sử dụng các sensor đã không ngừng tăng lên trong hàng loạt sản phẩm đo lường điều khiển. Hơn nữa, bởi vì đầu ra của sensor là tín hiệu điện, cho nên các sensors có xu hướng đặc trưng như thế là các linh kiện điện tử. Các bản kê dữ liệu của nhiều sensor đã được lập nên giống như bản kê của các linh kiện điện tử.

Tuy nhiên, đối với các phần tử cảm biến sensors cho tới nay chưa có được sự thống nhất gắn với một tiêu chuẩn quốc tế dành cho các đặc tính kỹ thuật của sensors. Người thiết kế hệ thống sẽ bắt gặp một loạt các cách diễn giải thông số hoạt động của cảm biến, và nó có thể gây nên lầm lẫn. Cho nên ở đây chúng ta điếm lại một số định nghĩa khái niệm cơ bản về các đặc tính của hệ đo lường điều khiển cùng các phần tử của nó.

Trong các hệ đo lường điều khiển, phần tử tự động là khâu chức năng cơ bản, được mô tả trên cơ sở mô hình một khối kín với vector tín hiệu đầu vào $\bar{x}(t)$ và vector tín hiệu đầu ra $\bar{y}(t)$ (hình 1.7). Khi đó, bản chất của mô hình toán học này sẽ chính là ánh xạ:

$$T : \bar{x}(t) \mapsto \bar{y}(t); \quad (1.1)$$

hay có thể viết dưới dạng:



$$\bar{y}(t) = T\{\bar{x}(t)\}. \quad (1.2)$$

Trên quan điểm kỹ thuật, thay vì tín hiệu vào-ra của phần tử, người ta thường sử dụng khái niệm kích thích và đáp ứng với nghĩa như sau: nếu kích thích phần tử bằng vector tín hiệu $\bar{x}(t)$ thì sẽ có đáp ứng là $\bar{y}(t)$.

Việc khảo sát, phân tích các đặc tính của một phần tử tự động thường được quy về phân tích mô hình toán học của nó. Như vậy, chỉ cần phân tích, khảo sát đáp ứng của phần tử với một vài kích thích điển hình, chẳng hạn như khảo sát đáp ứng của phần tử với kích thích là tín hiệu xung Dirac $\delta(t)$ hay tín hiệu bước nhảy đơn vị Heaviside $1(t)$. Tùy theo dạng tín hiệu được biểu diễn trong miền thời gian hay miền ảnh Fourier, Laplace thì mô hình sẽ có dạng là phương trình vi phân, hàm truyền đạt hay hàm đặc tính tần.

Hàm truyền đạt.

Hàm truyền đạt chỉ rõ quan hệ chức năng giữa tín hiệu vật lý đầu vào và tín hiệu điện đầu ra. Thông thường, quan hệ này thường được biểu diễn bằng đồ thị chỉ ra mối quan hệ giữa tín hiệu đầu vào và đầu ra, và những chi tiết của quan hệ đó có thể tạo thành sự mô tả các đặc tính kỹ thuật của phần tử. Đối với những phần tử chuyên dụng, như là những sensor đắt tiền, vốn được kiểm chuẩn cá biệt, nó có thể ở dạng đường cong quy chuẩn.

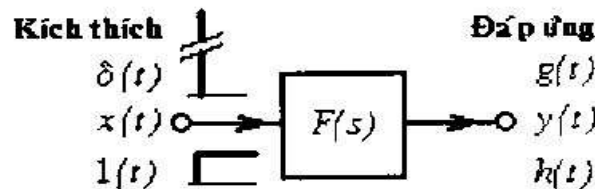
Hàm truyền đạt của một phần tử được xây dựng trên cơ sở mô hình mô tả quan hệ vật lý bên trong phần tử và giao tiếp với môi trường tương tác bên ngoài. Các quan hệ vào-ra này của phần tử thường được mô tả dưới dạng phương trình toán học, như biểu thức (1.1) chẳng hạn. Hàm truyền đạt $F(s)$ của một phần tử tự động được định nghĩa như là tỷ số giữa đáp ứng $Y(s)$ với kích thích $X(s)$.

$$F(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}; \quad (1.3)$$

Ở đây: $Y(s)$ và $X(s)$ là ảnh Laplace của đáp ứng $y(t)$ và kích thích $x(t)$ từ trạng thái ban đầu bằng 0.

Hàm truyền đạt (1.3) được dẫn xuất từ phương trình vi phân mô tả quan hệ vào-ra của phần tử, biểu diễn theo toán tử Laplace thành một phương trình đại số, có thể có dạng tuyến tính, phi tuyến, hàm loga, hàm lũy thừa hay hàm mũ vv...

Hình 1.7 mô tả mô hình một phần tử tự động bằng hàm truyền đạt $F(s)$, hàm trọng lượng $g(t)$ khi kích thích đầu vào là tín hiệu Dirac $\delta(t)$, hay hàm quá độ $h(t)$ khi kích thích đầu vào là tín hiệu bước nhảy Heaviside $1(t)$.



Hình 1.7 – Mô hình một phần tử tự động được mô tả bởi hàm truyền đạt $F(s)$.

Đối với các phần tử cảm biến đo lường thì thông thường kích thích đầu vào là sự tác động của các đại lượng vật lý đặc trưng thông số trạng thái của quá trình; còn đáp ứng đầu ra là tín hiệu điện tương ứng. Quan hệ đáp ứng – kích thích của bộ cảm biến, được đặc trưng bởi những đặc tính cơ bản của phần tử cảm biến trong ảnh hưởng của rất nhiều yếu tố tác động, do vậy rất phức tạp. Ở đây chúng ta đề cập đến những đặc tính cơ bản của phần tử cảm biến nói chung, trước tiên là để có một cách nhìn khái quát và hệ thống.

Độ nhạy. Độ nhạy được xác định theo cách nói riêng liên quan tới mối quan hệ giữa tín hiệu vật lý đầu vào và tín hiệu điện đầu ra. Nói chung, nó là tỷ số giữa sự thay đổi nhỏ trong tín hiệu điện đối với một sự thay đổi nhỏ trong tín hiệu vật lý. Như thế, nó có thể được thể hiện như một dẫn xuất của hàm truyền đạt liên quan với tín hiệu vật lý. Đơn vị đo lường điển hình là volts/kelvin, millivolts/kilopascal, vv ...

Một nhiệt kế có “độ nhạy cao” nếu như một sự thay đổi nhỏ của nhiệt độ đạt kết quả là một sự thay đổi điện áp lớn.

Trạng thái bền – Đặc tính tĩnh.

Các đặc tính bền mô tả tương quan thường ổn *stationary* giữa đại lượng đầu ra và đầu vào của một phần tử trong hệ đo lường điều khiển, thông qua các biến trạng thái vật lý ở trạng thái tĩnh hay trạng thái dừng. Mỗi tương quan này thường được biểu diễn bằng một trường các đường đặc tính tĩnh. Khi đó tính năng truyền đạt của phần tử được mô tả bởi quan hệ hàm toán học giữa đại lượng vật lý đầu vào x (kích thích đầu vào) và tín hiệu đầu ra y (đáp ứng đầu ra) dưới dạng biểu thức (1.1), hay đồ thị, hay bảng giá trị số.

Chỉ có thể nói đến tính bền đối với các phần tử có đặc tính tham số tĩnh, mạch cân bằng mà trong đó quá trình biến thiên đại lượng đầu vào x và đại lượng đầu ra y ứng với trạng thái tĩnh hay dừng *stationary*. Với những phần tử không cân bằng (đại lượng đầu ra thay đổi khi đại lượng đầu vào là hằng như phần tử đoạn mạch có tính tích phân) thì không thuộc dạng này.

Độ tuyến tính. Một phần tử là tuyến tính trong một dải biến thiên trạng thái đầu vào nếu trong dải đó độ nhạy của cảm biến (hay chuyển đổi) không phụ thuộc vào giá trị (độ lớn) của biến đầu vào, tức là độ nhạy là hằng số. Khi đó, ở chế độ tĩnh đặc tuyến tĩnh là tuyến tính. Ở chế độ động, độ tuyến tính bao gồm sự không đổi của độ nhạy và của các thông số đáp ứng, như tần số dao động riêng, hệ số suy giảm cũng không phụ thuộc vào biến đầu vào.

Trong thực tế, độ tuyến tính được dùng như là độ phi tuyến. Ta hiểu đó là sai lệch tối đa so với một hàm truyền đạt tuyến tính bao trùm cả dải động học đặc trưng. Có vài phép đo sai lệch đó. Chung nhất là so sánh hàm truyền thực tế với “đường thẳng nhất” (xem hình 1.9), nằm giữa hai đường song song bao toàn bộ hàm truyền trong suốt dải động học đặc trưng của dụng cụ. Sự lựa chọn phương pháp so sánh

này là phổ biến bởi vì nó làm cho đa số các cảm biến trông có vẻ tốt hơn. Có thể dùng những đường tham chiếu khác, sao cho người sử dụng cũng sẽ cẩn thận khi so sánh mà dùng cùng tham chiếu ấy.

Độ lớn tín hiệu đầu vào. Là giá trị lớn nhất của tín hiệu đầu vào mà sai số của phần tử không vượt ngưỡng cho phép. Thông thường ngưỡng động của kích thích đầu vào được biểu diễn bằng *dB*, logarithm của tỷ số công suất hoặc tỷ số điện áp (bảng 1.2).

$$1dB = 10 \lg \frac{P_2}{P_1} = 20 \lg \frac{u_2}{u_1} \quad (1.4)$$

Bảng 1.2 – Quan hệ giữa tỷ số công suất, điện áp theo *dB*.

Decibel, <i>dB</i>	0,1	1,0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
P_2/P_1	1,023	1,26	10	100	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	10^{10}
$u_2/u_1; (i_2/i_1)$	1,012	1,12	3,16	10	31,6	100	316	10^3	3.16^2	10^4	3.10^4	10^5

Độ phân giải. Độ phân giải của một cảm biến được xác định là dao động tín hiệu nhỏ nhất có thể phân biệt được. Bởi vì những dao động thất thường là hiện tượng tạm thời, có mối quan hệ nào đó giữa thang đo thời gian đối với dao động và biên độ nhỏ nhất có thể phân biệt được. Do đó định nghĩa của độ phân giải phải bao gồm thông tin nào đó về bản chất của phép đo đang thực hiện. Nhiều loại cảm biến bị giới hạn bởi nhiễu có phân bố phổ trắng. Trong những trường hợp như vậy, có thể đặc trưng độ phân giải theo đơn vị đo của tín hiệu vật lý / *root* (Hz) (căn bậc hai *root*). Khi đó, có thể xác định độ phân giải thực tế đối với từng phép đo riêng biệt bằng cách nhân số lượng đó với căn bậc hai của băng tần đo. Các bản kê dữ liệu cảm biến nói chung xác định độ phân giải ở đơn vị đo tín hiệu / căn bậc hai (Hz) hoặc cho tín hiệu nhỏ nhất có thể phân biệt được đối với phép đo đặc trưng. Nếu dạng nhiễu cũng được mô tả đặc tính thì có thể tổng quát hoá độ phân giải này cho những phép đo bất kỳ.

Tính thời gian – Đặc tính động.

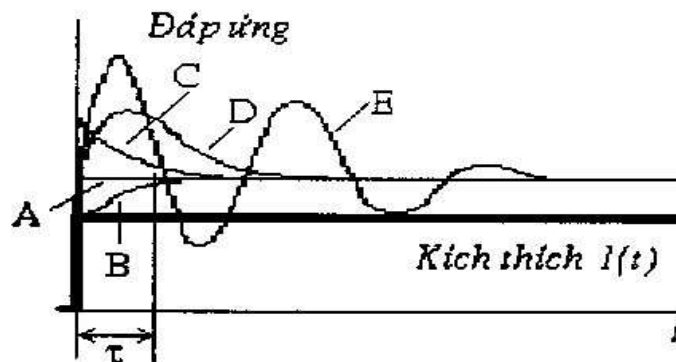
Tính thời gian mô tả mối tương quan biến thiên theo thời gian giữa các đại lượng đầu ra và đầu vào của phần tử hệ. Các phần tử trong hệ đo lường điều khiển thường biểu thị những tính chất đáp ứng rất khác nhau đối với sự biến động đại lượng đầu vào (thường kèm theo đại lượng nhiễu). Điều này có thể được xác định thông qua phản ứng đối với sự biến động đầu vào hoặc ảnh hưởng nhiễu, sẽ cho kết luận về các tính năng truyền đạt của nó – đặc tính động của một phần tử tự động hay cảm biến. Thường thì đặc tính động của phần tử được đặc trưng bởi hàm đặc tính tần của nó.

Hiện tượng trễ. Một số phần tử cảm biến sensor không trở về cùng một trị số đầu ra trong khi đầu vào có xu hướng dao động lên xuống. Độ rộng của sai số kỳ vọng đối với đại lượng đo được xác định như là hiện tượng trễ. Đơn vị đo lường điển hình là kelvin hay là phần trăm của toàn thang đo FSO.

Dải động học (hoặc độ rộng phạm vi động học). Phạm vi biến thiên của các tín hiệu vật lý đầu vào có thể chuyển đổi thành các tín hiệu điện của cảm biến là dải động học hay là độ rộng phạm vi động học. Những tín hiệu ngoài phạm vi này được cho rằng sẽ gây nên sự mất chính xác không chấp nhận được. Độ rộng hoặc dải động học thường được nhà cung cấp cảm biến đặc trưng như là phạm vi bao trùm mà các đặc tính hoạt động của phần tử cảm biến đã nêu trong bản kê dữ liệu của nó hy vọng sẽ có tác dụng. Các đơn vị đo lường điển hình là kelvin, pascal, newton, vv ...

Độ tác động nhanh. Là khả năng đáp ứng theo thời gian tác động của biến đầu vào (thời gian hồi đáp). Thời gian đáp ứng τ là khoảng thời gian biến thiên tín hiệu đáp ứng đầu ra, từ thời điểm tác động của biến đầu vào, cho đến khi chỉ còn khác giá trị cuối một ngưỡng sai lệch quy định ε [%]. Hình 1.8 biểu diễn đáp ứng của một phần tử tự động khi được kích thích bởi tín hiệu bước nhảy đơn vị Heaviside $1(t)$: dạng A là đáp ứng tức thời; B – đáp ứng trễ dạng hàm

mũ; C – đáp ứng tức thời có suy giảm; D – đáp ứng trễ có suy giảm; E – đáp ứng dao động tắt dần.



Hình 1.8 – Các dạng đáp ứng của phần tử tự động đối với tác động đầu vào dạng bước nhảy.

Độ rộng băng tần. Mọi phần tử đều có thời gian đáp ứng nhất định đối với sự thay đổi liên tục của kích thích. Đối với các cảm biến thì chúng phải có thời gian để đáp ứng với sự biến thiên liên tục của tín hiệu vật lý đầu vào. Thêm vào đó, nhiều cảm biến có thời gian tổn hao, là khoảng thời gian cần thiết sau biến động dạng bước nhảy trong tín hiệu vật lý để đầu ra của cảm biến đạt tới giá trị thực của nó (hình 1.8). Quan hệ tương hỗ của những khoảng thời gian này tùy theo tần số tương ứng giới hạn trên hay dưới. Độ rộng băng tần của một cảm biến là phạm vi tần số giữa hai tần số giới hạn ấy.

Nhiều. Mọi cảm biến đều có ở đầu ra một số nhiễu kết hợp lại trong tín hiệu ra. Trong vài trường hợp, nhiễu của cảm biến là nhỏ hơn nhiễu của phần tử hệ thống kề cận (phần tử / linh kiện điện tử), hoặc nhỏ hơn những dao động thất thường của tín hiệu vật lý, mà trong trường hợp đó không mấy quan trọng. Tồn tại nhiều trường hợp hơn, khi nhiễu của cảm biến làm hạn chế hoạt động của hệ vốn dựa trên cơ sở cảm biến.

Thông thường nhiễu được mô tả thông qua phổ tần số. Nhiều nguồn nhiễu thông thường gây nên phân bố phổ nhiễu trắng mà có thể nói rằng mật độ phổ nhiễu cũng giống như tất cả các tần số khác.

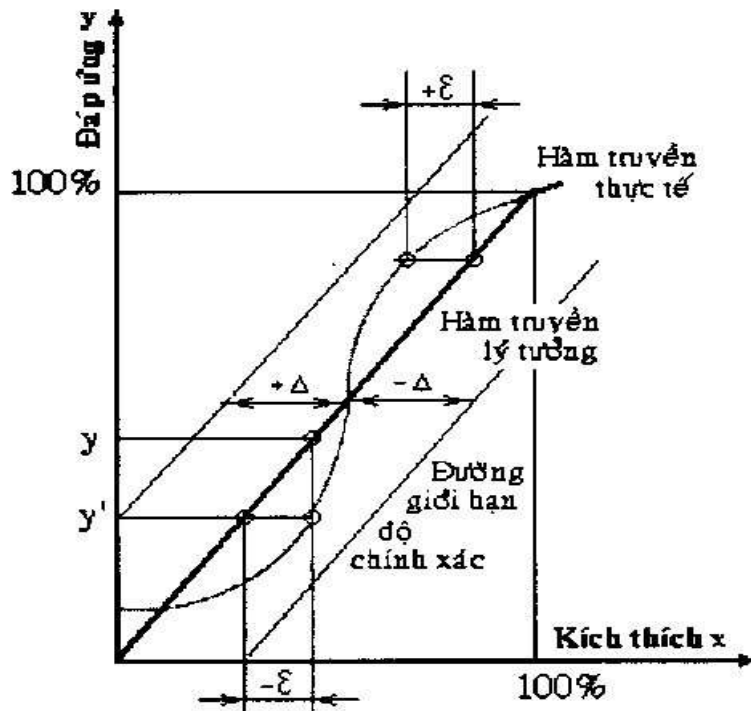
Nhiều Johnson trong điện trở là một ví dụ điển hình của mô tả nhiễu ấy. Đối với nhiễu trắng, mật độ phổ nhiễu được đặc trưng ở đơn vị volts/root-căn bậc hai(Hz). Có một cách mô tả bản chất tự nhiên ấy là gộp thêm nhiễu vào phép đo có biên độ tỷ lệ với căn bậc hai của độ rộng băng tần dải đo. Bởi quan hệ giữa độ rộng băng tần và thời gian đo là trị nghịch đảo của nhau, nên có thể nói rằng nhiễu sẽ giảm theo căn bậc hai của thời gian đo.

Độ chính xác (hay độ bất định) và sai số.

Nói chung, độ bất định được định nghĩa như là sai lệch lớn nhất có thể xảy ra giữa các tín hiệu ra thực tế và tín hiệu ra lý tưởng. Đơn vị đo lường điển hình là kelvin. Đôi khi được dẫn xuất như là một phần (phần trăm) của toàn bộ thang đo đầu ra hay là một phần của chỉ thị đọc được. Ví dụ, một nhiệt kế đảm bảo độ chính xác trong khoảng 5% phạm vi toàn thang đo FSO (*Full Scale Output*). “Độ chính xác” ở đây, nói chung được các cán bộ đo lường công nhận, phải là một thuật ngữ định tính, trong khi “độ bất định” là thuật ngữ có tính định lượng. Ví dụ: một cảm biến có độ chính xác cao hơn cảm biến khác nếu như độ bất định của nó là 1% so với những cảm biến khác có độ bất định 3%.

Độ chính xác của các phần tử tự động nói chung và các phần tử cảm biến nói riêng tùy thuộc chủng loại, nguyên lý, phương pháp và phương tiện kỹ thuật cho phép thu nhận, biến đổi hay tái tạo đại lượng vật lý gắn với giá trị thực tới mức nào (hình 1.9). Đối với các phần tử cảm biến trong thực tiễn ứng dụng kỹ thuật, độ chính xác cảm biến được đánh giá bởi các phép đo định lượng, bằng kỹ thuật đo lường, chúng đặc trưng bởi sai số đo lường.

cuu duong than cong . com



Hình 1.9 – Hàm truyền và giới hạn sai số của cảm biến lý tưởng.

Lý thuyết sai số xây dựng cơ sở để nhận biết và đánh giá sai số của các phép đo thực nghiệm. Lý thuyết sai số là một bộ phận của thống kê toán học, có nhiệm vụ xác định trị số của những đại lượng chưa biết theo kết quả của những phép đo thực nghiệm có chứa sai số ngẫu nhiên. Công cụ toán học xác suất thống kê là cơ sở tìm ra quy luật phân bố các sai số ngẫu nhiên, tìm cách đánh giá các đại lượng chưa biết theo các kết quả quan sát và xác định sai số của các cách đánh giá định lượng (lượng giá) chúng.

Sai số tuyệt đối của phép đo đại lượng cảm biến X – là độ lệch giữa giá trị đo được X_{do} và giá trị thực X_r .

$$\Delta X = X_{do} - X_r. \quad (1.5)$$

Sai số tương đối của cảm biến:

$$\varepsilon[\%] = \frac{\Delta X}{X_r} \cdot 100\%. \quad (1.6)$$

Đối với phương tiện đo, thông thường sai số tuyệt đối được xác định theo phạm vi đo của thiết bị (Pvd), được gọi là thang đo. Phạm vi đo Pvd của một thiết bị đo là giá trị chuẩn định của thang đo, bằng khoảng khác biệt giữa giá trị đầu và giá trị cuối thang đo. Cấp chính xác Cl . (*Class*) của phương tiện đo được định chuẩn theo sai số tương đối quy đổi trên toàn thang đo Pvd :

$$\tilde{\varepsilon}[\%] = \frac{\Delta X}{Pvd} \cdot 100\%; \quad (1.7)$$

Độ lớn $\tilde{\varepsilon}$ được đánh giá như sai số chuẩn định hay sai số nhỏ nhất của thiết bị đo có thể đạt tới, do vậy mà cấp độ chính xác của máy đo được định kỳ kiểm định theo mức sai số $\tilde{\varepsilon}$ đó.

Trong thực tế, khi chưa biết được giá trị thật X_r và nếu giá trị đo X_{do} nhận được theo quan sát trên một máy đo có cấp chính xác Cl nào đó, (khi sai số đo đủ nhỏ $|\varepsilon| \ll 1$, và phép đo được coi như không chịu ảnh hưởng của sai số ngẫu nhiên), thì kết quả đo bằng:

$$X = (X_{do} \pm \Delta X) \cong \left(X_{do} \pm \frac{Pvd \cdot Cl}{100\%} \right); \quad (1.8)$$

ở đây: X_{do} – giá trị đo thu được trên máy đo; Pvd – phạm vi thang đo; Cl – cấp chính xác máy đo, [%].

Không thể loại trừ hoàn toàn được sai số, người ta chỉ có thể đánh giá sai số – nói đúng hơn là đánh giá được giới hạn trên của sai số – mắc phải trong các phép đo và ảnh hưởng của nó tới kết quả đo. Tùy tính chất và nguyên nhân sai số, tùy theo cách đánh giá mà giảm thiểu hay loại trừ ảnh hưởng của sai số, người ta phân biệt hai loại sai số: sai số hệ thống và sai số ngẫu nhiên.

Sai số hệ thống – là những sai lệch có trị số gần như không đổi hoặc thay đổi theo một quy luật nhất định, trong một loạt phép đo giống nhau (không phụ thuộc số lần đo lặp). Nguyên nhân có thể là:

- Do nguyên lý cảm biến, biến đổi không phù hợp;
- Giá trị đại lượng chuẩn-so không chính xác;
- Do đặc tính kỹ thuật của cảm biến không tương thích;
- Do điều kiện và chế độ sử dụng không phù hợp;
- Do xử lý kết quả đo không tốt.

Sai số ngẫu nhiên – là sai số có trị số không xác định, biến thiên bất thường, sinh ra do nhiều nguyên nhân không rõ đích xác. Những nguyên nhân thường gặp là:

- Do đặc tính kỹ thuật của của cảm biến thay đổi mà không được chuẩn lại;
- Do tác động nhiễu ngẫu nhiên;
- Do ảnh hưởng những thay đổi môi trường (thường là điều kiện đo).

Sai số hệ thống thì có thể loại trừ được hoặc có thể tính được để hiệu chỉnh, bổ chính kết quả đo một cách thích hợp. Sai số ngẫu nhiên lại không thể loại trừ, nhưng vẫn có thể lượng giá được độ lớn (trị số) và ảnh hưởng của nó đối với phép đo. Việc lượng giá giá trị sai số ngẫu nhiên dựa trên cơ sở toán học xác suất thống kê, trong đó sai số ngẫu nhiên được đặc trưng bởi các đặc tính cơ bản:

- Định luật phân bố sai số và hàm mật độ phân bố xác suất sai số;
- Độ lệch trung bình bình phương (phương sai) và trị trung bình số học;
- Khoảng tin cậy và xác suất tin cậy.

Theo định luật phân bố chuẩn Gauss, thì trị trung bình số học μ (gọi là giá trị xác suất kỳ vọng) của các kết quả quan sát lẻ X , trong một phép đo lặp đại lượng cảm biến X cho ta kết quả phép đo X_{do} được coi là gần giá trị thật X_r nhất, với độ sai lệch trung bình bình phương

(gọi là sai lệch chuẩn σ , hay gọi tắt là phương sai). Từ đó tính được độ tin cậy thống kê (tức là xác suất P) xuất hiện một giá trị đo lẻ X_i trong khoảng giá trị (phạm vi tin cậy) nào đó cho trước $X_1 \leq X_i \leq X_2$.

Giá trị thật vốn không nhận biết trực tiếp và chính xác được. Dù cho có tiến hành đo lặp nhiều lần (lý thuyết là vô số lần) giá trị đo bằng một phương tiện đo trong cùng một điều kiện đo, thì cũng sẽ cho các kết quả quan sát không giống nhau, không phụ thuộc nhau và biến đổi một cách ngẫu nhiên. Tuy vậy, trong thực tế phép đo lặp cho phép đánh giá đại lượng cảm biến theo các đặc tính cơ bản nêu trên của phép toán tính xác suất thống kê.

Chuẩn tín hiệu giao diện của các bộ cảm biến. Nói chung, đối với các phần tử cảm biến, tín hiệu đầu ra của các cảm biến vật lý thường không phù hợp, chưa tương thích với các bộ phận của các công đoạn kế tiếp cần thiết, như xử lý dữ liệu, lưu ghi hiển thị, hay truyền dẫn ... Nhất là ngày nay các bộ phận này chủ yếu là các phần tử linh kiện kỹ thuật số – máy tính. Do vậy cần chuẩn hoá tín hiệu, biến đổi tương hợp trong một hệ đo lường và điều khiển chung (xem hình 1.2, 1.3) và được thực hiện bởi bộ *conditioner* chuẩn hoá giao diện giữa cảm biến với bộ phận kế tiếp.

Ngày nay các sensors và transducers có tín hiệu đầu ra là tín hiệu điện (dòng hay áp) được xác định bởi những phép biến đổi tương hợp tín hiệu chuẩn hoá, trong kỹ thuật điều khiển tự động thường là:

Điện áp: $0 \dots 10$ [V]; ± 10 [V];

Dòng điện: $0 \dots 10$ [mA]; $4 \dots 20$ [mA];

Tín hiệu dòng chuẩn hoá ($4 \div 20$) [mA] được chấp nhận như một chuẩn công nghiệp.

Các đầu ra toàn thang đo của hầu hết cảm biến là điện áp, dòng điện hay những thay đổi điện trở tương đối nhỏ, và do đó các đầu ra của chúng phải được chuẩn hoá một cách thích hợp trước khi có thể xử lý số hay tương tự tiếp theo. Vì thế, đã xuất hiện cả một lớp mạch

điện, nói chung được tham chiếu như là các mạch chuẩn hoá tín hiệu. Khuếch đại, chuyển mức, điện ly, biến đổi trở kháng, tuyến tính hoá, và lọc là những chức năng cơ bản chuẩn hoá tín hiệu có thể cần đến.

Tuy nhiên, dù có lấy bất kỳ dạng chuẩn hoá nào đi nữa thì giải pháp mạch và việc thực hiện sẽ được chỉ đạo bởi đặc tính điện của cảm biến và đầu ra của nó. Sự đặc trưng hoá chính xác cảm biến trong cách nói riêng về các thông số ứng dụng, ví như độ nhạy, mức dòng và áp, độ tuyến tính, trở kháng, độ khuếch đại, thiên áp, độ trôi, hằng số thời gian, các cực trị về điện, trở kháng trễ và các đặc tính quan trọng khác có thể nói lên sự khác biệt giữa siêu chuẩn và sự ứng dụng thành công của dụng cụ, đặc biệt là trong trường hợp độ phân giải và độ chính xác cao, hoặc các phép đo mức độ thấp được thực hiện.

Mức độ tích hợp cao của các vi mạch tích hợp IC ngày nay cho phép chúng đóng vai trò đầy ý nghĩa trong lĩnh vực chuẩn hoá cả tín hiệu số và tín hiệu tương tự. Các ADC (chuyển đổi tương tự – số) được thiết kế chuyên dụng cho các ứng dụng đo lường thường bao gồm các bộ khuếch đại lập trình được độ khuếch đại bên trong con chip (PGAs – *Programmable-Gain Amplifiers*) và các mạch tiện ích khác như các nguồn dòng để điều khiển các RTDs đồng thời giảm thiểu những yêu cầu về mạch chuẩn hoá tín hiệu ngoài.

Hầu hết các đầu ra của cảm biến là phi tuyến đối với các kích thích, và các đầu ra của chúng phải được tuyến tính hoá nhằm mang lại phép đo đúng. Có thể dùng các kỹ thuật tương tự analog để thực hiện chức năng đó. Tuy nhiên, ngày nay đã có các chuyển đổi A/D có tính năng hoạt động cao cho phép thực hiện tuyến tính hoá một cách hiệu quả và chính xác hơn nhiều bằng các phần mềm và giới hạn sự cần thiết phải có những hiệu chuẩn bằng tay phiền phức bằng cách sử dụng bộ nhân và đôi khi là các mạch cắt tương tác *trimpots*.

Các phần tử tích cực hay thụ động. Có thể phân loại các phần tử tự động theo dạng phần tử – linh kiện tích cực *active* hay thụ động *passive*. Như trên đã nêu, có hai cách nhìn khác nhau về việc đó. Ở

đây chúng ta đi theo cách nhìn nhận và cách phân loại chung nhất, trên cơ sở nguyên lý biến đổi năng lượng.

Các phần tử tích cực tác hoạt như một nguồn (nguồn áp hay nguồn dòng), không phải cung cấp nguồn năng lượng phụ. Những phần tử này được biểu diễn dưới dạng mạng hai cửa có nguồn trong. Các phần tử tích cực điển hình là các phần tử cảm biến vật lý như cảm biến nhiệt-điện *thermoelements*, cặp nhiệt ngẫu *thermocouples*, các hệ điện-động *electro-magnetic generators*, phần tử quang-điện *photoelements*, tinh thể áp-điện *piezocrystal*, vv...

Các phần tử thụ động tiêu thụ năng lượng từ nguồn phụ hoặc lấy từ biến kích thích đầu vào để biến đổi thành tín hiệu đầu ra. Những phần tử thụ động được biểu diễn dưới dạng mạng hai cửa không nguồn, có trở kháng trong phụ thuộc kích thích đầu vào. Điển hình là các phần tử cảm biến tham số như đầu dò biến trở (chiết áp *potentiometers*, biến trở hệ số nhiệt âm hay dương NTC- / PTC-, băng đo biến dạng DMS, biến trở quang *photoresistances*, ...); cảm biến điện dung (tụ xoay / tụ bản cực phẳng ...); cảm biến điện cảm; cảm biến từ tính, vv...

Các phần tử lý tưởng và thực tế. Các phần tử tự động, nhất là các phần tử cảm biến, về nguyên lý là ứng dụng các hiệu ứng biến đổi vật lý. Các phần tử cảm biến có chức năng chung là biến đổi tín hiệu đầu vào có bản chất năng lượng như cơ năng, điện năng, hóa năng hay nhiệt năng, thành tín hiệu đầu ra dạng năng lượng điện. Các phần tử lý tưởng thực hiện biến đổi này mà không tổn hao. Ví dụ, một phần tử cảm biến lý tưởng dùng đo hay điều chỉnh áp lực thì không được để bị biến dạng, do đó phải có độ bền cứng lớn vô cùng. Một phần tử cảm biến độ rung hay chấn động phải có độ dẻo cao vô cùng, để có thể làm việc mà không bị tổn hao. Đối với những trường hợp như vậy, việc chế tạo các phần tử tự động (lý tưởng) tương thích với yêu cầu kỹ thuật là rất khó khăn, nhưng lại rất cần thiết cho các công việc nghiên cứu, khảo sát, phân tích, thiết kế ...

Hầu như hết thảy các nguyên lý vật lý lý thuyết và ứng dụng mà công nghệ đạt tới đều được đem ra ứng dụng cho kỹ thuật thiết kế và chế tạo chúng. Mỗi ứng dụng kỹ thuật lại đòi hỏi phải có những biện pháp cấu trúc phù hợp, do vậy các đặc tính của các phần tử tự động thực tế là rất đa dạng. Nói chung, đối với từng chủng loại hay từng phần tử tự động có những yêu cầu chuyên biệt riêng, chỉ có thể thoả hiệp giữa yêu cầu lý tưởng và năng lực hiện thực hoá chúng của kỹ nghệ đương đại.

1.4 – Cơ sở ứng dụng.

Sau khi đã điếm qua những khái niệm định nghĩa cơ bản về các đặc tính hoạt động của các phần tử tự động nói chung và các phần tử cảm biến nói riêng, chúng ta hãy tham khảo một ví dụ lấy điển hình bản kê dữ liệu của một phần tử cụ thể minh họa.

1.4.1 – Đặc tính vận hành của một cảm biến cụ thể.

Để minh họa những khái niệm định nghĩa trên ta lựa ra trị số của các thông số ấy đối với một máy đo sẵn có, máy đo gia tốc ADXL150 của hãng Analog Devices.

Hàm truyền.

Quan hệ chức năng giữa điện áp và gia tốc được nêu ra là:

$$V(Acc) = 1,5V + (Acc \cdot 167 \frac{mV}{g}); \quad (1.9)$$

ở đây: *Acc* là trị số đo gia tốc; *V* là trị số điện áp ra.

Có thể dùng biểu thức này để hiệu chỉnh đặc tính của cảm biến, và bao gồm cả thông tin về độ nhạy và điện áp định thiên offset ở đầu ra của cảm biến.

Độ nhạy.

Độ nhạy của cảm biến được cho bởi dẫn xuất điện áp đối với gia tốc tại một điểm vận hành nhất định. Đối với dụng cụ này độ nhạy là 167 mV/g.

Dải động học.

Dải động học được nêu ra đối với ADXL322 là $\pm 2g$. Ngoài phạm vi này tín hiệu sẽ tiếp tục tăng lên hay hạ xuống, nhưng độ nhạy không còn được nhà sản xuất đảm bảo là 167 mV/g nữa. Cảm biến có thể chịu đựng được tới 3500g.

Độ trễ.

Trong dụng cụ này không có nguồn trễ cơ bản nào. Trong bản kê dữ liệu không nói gì đến độ trễ.

Hệ số nhiệt độ.

Trong cảm biến này độ nhạy thay đổi theo nhiệt độ, và sự thay đổi này được đảm bảo nhỏ hơn 0.025%/C. Điện áp bù (định thiên offset) khi không có gia tốc (định mức là 1,5V) cũng thay đổi trong khoảng 2 mV/C. Biểu diễn bằng điện áp, sự thay đổi điện áp bù này không lớn hơn 0,3 mV/C.

Độ tuyến tính.

Ở trường hợp này, độ tuyến tính là sự khác biệt giữa hàm truyền đạt thực tế và đường thẳng nhất trong suốt phạm vi hoạt động đặc trưng. Đối với dụng cụ này, nó được nêu là nhỏ hơn 0.2% toàn bộ thang đo tín hiệu ra. Bản kê dữ liệu cũng cho độ sai lệch khỏi độ tuyến tính có thể có.

Nhiều.

Nhiều được biểu diễn như mật độ nhiễu và không lớn hơn 300 microg/root Hz. Để biểu thị số liệu đó theo điện áp, ta nhân nó với độ nhạy (167 mV/g) được 0,5 microV/Rt Hz. Khi đó, sử dụng bộ lọc thông tần thấp 10Hz, ta sẽ có nhiễu khoảng 1,5 microV hiệu dụng, và sai số về gia tốc khoảng 1 milligr.

Độ phân giải.

Bản kê dữ liệu cảm biến cho số liệu là 300 microG/Rt Hz.

Độ rộng băng tần.

Độ rộng băng tần của cảm biến này phụ thuộc vào sự lựa chọn các tụ điện và điện trở mạch ngoài.

1.4.2 – Các vấn đề ứng dụng.

Cảm biến chất lượng cao nhất, cập nhật nhất, được hiệu chuẩn chuẩn xác nhất và được lựa chọn kỹ càng nhất vẫn có thể cho những dữ liệu hoàn toàn sai nếu không được áp dụng phù hợp. Ở đây xem xét một vài vấn đề về nhận thức để đảm bảo sử dụng cảm biến một cách phù hợp, có hiệu quả, trong khi đề cập đến các vấn đề cần phải tìm hiểu và giải đáp trong quá trình chọn lựa và áp dụng bất kỳ cảm biến nào.

Thường thì một trong những nhiệm vụ khó khăn mà một kỹ sư đo lường điều khiển phải đối mặt là việc chọn lựa một hệ đo lường thích hợp. Tính thực dụng về kinh tế và sức ép của nhu cầu đối với thiết bị phần cứng hoạt động một cách thích ứng và an toàn tạo nên một yêu cầu thiết thực về việc thu nhận dữ liệu chính xác, thiết yếu đối với mỗi một phép đo.

Mặt khác, mỗi ứng dụng sẽ có những đặc trưng khác biệt của nó, và chắc sẽ tùy thuộc vào những điều kiện môi trường khác, với những yêu cầu khác về dữ liệu. Một khi phép thử nghiệm hay các chương trình đo lường đang chạy, thì dữ liệu thường là tùy thuộc các bước thao tác, phân tích và khảo sát tương tận. Trong môi trường này, có thể người kỹ sư đo lường không còn phụ thuộc vào các hệ đo lường chức năng tổng quát của mình nữa mà hy vọng có được dữ liệu chấp nhận được. Tất nhiên, anh ta phải phân tích kỹ lưỡng mọi mặt phép thử đã thực hiện, khoản mục thử nghiệm, các điều kiện môi trường, và, nếu như sẵn có, cả những dự báo dùng phép phân tích. Trong đa số các trường hợp, quá trình này sẽ chỉ thị một sự chọn lựa rõ ràng các thành phần của một hệ chấp nhận được. Trong vài trường hợp, những phân tích này sẽ chỉ ra những thoả hiệp không thể tránh khỏi hoặc sự cân đối thoả hiệp giữa hai bên và cảnh báo cho người kỹ sư và khách hàng

của anh ta những thiếu hụt có khả năng xảy ra trong kết quả. Phần dưới đây nhằm trợ giúp trong quá trình lựa chọn một hệ đo lường chấp nhận được.

Trong khi hy vọng đạt được mục tiêu, ta hiểu rằng không thể nhắm tới một cách triệt để mọi tình huống có thể xảy ra. Ta hãy xem xét một vài trường hợp giả thiết khi sự lựa chọn dụng cụ đã được làm một cách cẩn thận, nhưng những thử nghiệm đã hỏng.

1. Thử nghiệm đòi hỏi thông tin về tần số thấp, trọng lực g thấp được đo trên trục ổ bi xe lửa để đánh giá trạng thái của nền đường sắt. Sau khi lượng giá được phạm vi những điều kiện phải đo, độ nhạy cao, cộng hưởng thấp, người ta đã chọn máy đo gia tốc áp-điện piezoelectric. Những va đập diễn ra khi bánh xe chạm các mối nối giữa các phần đường làm bộ khuếch đại bão hoà, làm cho nó không còn khả năng thu nhận bất kỳ dữ liệu có nghĩa nào.

2. Một mục thử nghiệm phải bộc lộ sự kết hợp môi trường rung động và nhiệt độ thay đổi nhanh. Người kỹ sư chọn một máy đo gia tốc cho phạm vi nhiệt độ cao mà không tham khảo ý kiến nhà sản xuất. Tín hiệu nhiệt đầu ra làm tràn ngập dữ liệu về độ rung động.

3. Sự quan tâm các mạch điện cơ bản nhắc tới sự chọn lựa một máy đo gia tốc có vỏ bọc cách ly. Cấu trúc thử nghiệm được làm từng phần, từ các hợp chất nhẹ, và trường hợp của vài máy đo gia tốc đã không được tham khảo một cách cơ bản. Điện dung ký sinh của nhiều giao thoa phát xạ lên đường tín hiệu bao phủ cả luồng dữ liệu.

Từ những ví dụ trên, ta hy vọng nhấn mạnh được rằng: đối với tất cả các hệ đo lường, chỉ nhận thức đơn thuần những gì ta muốn đo là điều không đủ, không tương xứng. Trên thực tế, mỗi hiện tượng vật lý và hiện tượng điện hiện hữu đều cần phải được nhận thức rằng ít ra chúng đều bị bao phủ, hay tệ hơn, làm ô nhiễm một cách tinh vi các dữ liệu của ta. Người sử dụng nên nhớ rằng mỗi hệ đo lường phải hoàn toàn tương ứng với môi trường của nó.

Các đặc tính cảm biến. Nói chung, người sử dụng nỗ lực tìm cách lựa chọn dựa trên cơ sở những đặc tính kỹ thuật sẵn có trong bản kê dữ liệu sản phẩm. Nhiều đặc tính ứng dụng được nêu trong bản kê dữ liệu điển hình. Nhiều nhà sản xuất cảm thấy rằng bản kê dữ liệu phải cung cấp càng nhiều thông tin càng tốt. Không may thay, sự dư thừa dữ liệu này có thể tạo ra sự lúng túng nào đó cho người sẽ sử dụng chúng, nhất là người mới sử dụng. Do đó người kỹ sư phải chắc chắn rằng anh (hay cô ta) hiểu biết những đặc tính cơ bản và chúng sẽ ảnh hưởng thế nào tới phép đo. Nếu điều đó không còn nghi ngờ gì nữa, thì nên tiếp xúc với nhà sản xuất để làm rõ hơn.

Các đặc tính của hệ. Cảm biến và các bộ chuẩn hoá tín hiệu phải được lựa chọn để làm việc chung với nhau như trong một hệ thống nhất. Hơn nữa, hệ thống phải được lựa chọn để hoạt động tốt trong mục tiêu ứng dụng đã định. Độ chính xác toàn phần của hệ thường bị ảnh hưởng nhiều nhất bởi các đặc tính của cảm biến như các ảnh hưởng của môi trường và các đặc tính động học. Các đặc tính khuếch đại như độ phi tuyến, độ méo dạng sóng hài và độ phẳng của đường cong đáp ứng tần số thường là không đáng kể so với các sai số cảm biến.

Lựa chọn dụng cụ. Việc lựa chọn một hệ cảm biến (hay hệ chuẩn hoá tín hiệu) cho những phép đo có độ chính xác cao đòi hỏi người kỹ sư đầy kỹ năng và phải kỹ lưỡng. Phải nhận thức được tất cả những điều kiện môi trường, cơ học, kỹ thuật đo. Việc lắp đặt phải được lên kế hoạch và thực hiện kỹ lưỡng.

Những hướng dẫn nêu dưới đây như một phương tiện để lựa chọn và lắp đặt các hệ đo lường để có thể đạt được độ chính xác cao nhất.

Cảm biến. Phần tử quan trọng nhất trong hệ đo lường là cảm biến sensor. Nếu dữ liệu bị sai lạc hoặc hư hỏng bởi cảm biến, thì thường rất hiếm có khả năng chỉnh sửa lại.

Liệu cảm biến sẽ hoạt động thoải mái trong môi trường đo hay không?

Kiểm thử:

- Phạm vi nhiệt độ.
- Độ va đập và rung động tối đa.
- Độ ẩm.
- Áp suất.
- Mức âm thanh.
- Độ ăn mòn dây đo.
- Từ trường và trường điện-từ RF.
- Phóng xạ hạt nhân.
- Hơi bụi muối.
- Nhiệt dẫn.
- Sức căng trong bề mặt lắp ráp.

Liệu các đặc tính cảm biến có cung cấp dữ liệu với độ chính xác mong muốn hay không?

Kiểm thử:

- Độ nhạy.
- Đáp ứng tần số.
- Tần số cộng hưởng.
- Cộng hưởng thứ cấp.
- Điện dung bên trong.
- Độ nhạy xuyên ngang.
- Biên độ độ tuyến tính và độ trễ.
- Dao động nhiệt độ.
- Trọng lượng và kích thước.

- Trở kháng trong ở nhiệt độ tối đa.
- Độ chính xác hiệu chuẩn.
- Độ nhạy sức căng.
- Suy giảm ở các cực trị nhiệt độ.
- Điểm 0 số đo đầu ra.
- Độ trôi nhiệt điểm 0.
- Đáp ứng nhiệt dẫn.

Liệu phương pháp lắp đặt dùng cho ứng dụng này có phù hợp hay không?

Kiểm thử:

- Có cần lớp cách ly (điện, nhiệt) hay không?
- Mạch tiếp địa.
- Mô phỏng hiệu chuẩn.
- Có cần chất kết dính lắp ráp không?
- Kích thước dài, độ sâu và cấp bậc.

Cáp nối. Các đường cable và đầu nối thường là mối liên kết yếu nhất trong chuỗi hệ đo lường.

Liệu đường cáp có hoạt động thoả mãn trong môi trường đo hay không?

Kiểm thử:

- Phạm vi nhiệt độ.
- Các điều kiện độ ẩm.

Liệu các đặc tính kỹ thuật của cáp có cung cấp dữ liệu với độ chính xác mong muốn hay không?

Kiểm thử:

- Độ nhiễu tạp thấp.
- Kích thước và trọng lượng.

- Tính linh hoạt.
- Có đòi hỏi đầu nối niêm kín hay không?

Nguồn cung cấp.

Liệu nguồn cung cấp hoạt động có thoả mãn trong môi trường đo hay không?

Kiểm thử:

- Phạm vi nhiệt độ.
- Độ va đập và rung động tối đa.
- Độ ẩm.
- Áp suất.
- Mức âm thanh.
- Độ ăn mòn dây đo.
- Từ trường và trường điện-từ RF.
- Phóng xạ hạt nhân.
- Hơi muối.

Liệu đó đã phải là nguồn cung cấp phù hợp cho ứng dụng này chưa?

Kiểm thử:

- Điều chỉnh điện áp.
- Điều chỉnh dòng điện.
- Sự tuân thủ điện áp.
- Điện áp ra có điều chỉnh được không?
- Dòng điện ra có điều chỉnh được không?
- Đường truyền ra có dài không?
- Sự cần thiết cảm biến ngoài.
- Cách điện.

- Card kiểu thức mode, nếu yêu cầu.

Liệu các đặc tính của nguồn có cung cấp dữ liệu với độ chính xác mong muốn hay không?

Kiểm thử:

- Điều chỉnh tải.
- Điều chỉnh đường dẫn.
- Ổn định nhiệt.
- Ổn định thời gian.
- Độ gợn sóng và nhiễu.
- Trở kháng ra.
- Đáp ứng đường truyền.
- Nhiễu tới đất.
- Cách ly điện một chiều DC.

Bộ khuếch đại. Bộ khuếch đại phải cung cấp độ khuếch đại, phối hợp trở kháng, dòng điều khiển ra, và các xử lý tín hiệu khác.

Liệu bộ khuếch đại có hoạt động thỏa mãn trong môi trường đo hay không?

Kiểm thử:

- Phạm vi nhiệt độ.
- Độ va đập và rung động tối đa.
- Độ ẩm.
- Áp suất.
- Mức âm thanh.
- Độ ăn mòn dây đo.
- Từ trường và trường điện-từ RF.
- Phóng xạ hạt nhân.
- Hơi muối.

Đây đã là bộ khuyếch đại phù hợp với ứng dụng này chưa?

Kiểm thử:

- Đường dây vào có dài không?
- Sự cần thiết bộ khuyếch đại nạp.
- Sự cần thiết bộ khuyếch đại nạp từ xa.
- Đường dây ra dài.
- Sự cần thiết bộ khuyếch đại công suất.
- Đường truyền không trung.
- Các giới hạn về kích thước, trọng lượng, công suất.

Liệu các đặc tính khuyếch đại có cung cấp các dữ liệu với độ chính xác mong muốn hay không?

Kiểm thử:

- Độ khuyếch đại và độ ổn định khuyếch đại.
- Đáp ứng tần số.
- Độ tuyến tính.
- Độ ổn định.
- Độ dịch pha.
- Dòng và áp ra.
- Nhiễu dư.
- Trở kháng vào.
- Đáp ứng chuyển tiếp.
- Điện dung quá tải.
- Loại bỏ kiểu thức mode chung.
- Hệ số nhiệt zero-.
- Hệ số nhiệt khuyếch đại.

Thu nhận dữ liệu và chỉ thị.

Liệu phần còn lại của hệ, bao gồm cả các khuyếch đại phụ, các bộ lọc, các thiết bị thu dữ liệu và chỉ thị, có hạn chế nào đó làm mất giá trị các đặc tính của phần cảm biến – khuyếch đại hay không?

Kiểm thử: ALL của các khoản mục thử nghiệm trên, cộng cả giải thuật tương ứng.

1.4.3 – Lắp đặt.

Thậm chí một hệ đã được lựa chọn và hiệu chuẩn một cách cẩn thận và thông suốt nhất vẫn có thể tạo ra những dữ liệu tồi nếu được lắp đặt một cách kém hiểu biết và không cẩn thận chu toàn.

Cảm biến sensor.

Liệu bộ phận đã ở trong tình trạng tốt và sẵn sàng để sử dụng?

Kiểm thử:

- Cập nhật hiệu chuẩn.
- Điều kiện vật lý.
- Bao gói.
- Bề mặt lắp ráp.
- Đầu nối.
- Lắp ráp phần cứng.
- Kiểm tra đầu làm sạch.
- Điện trở trong.

Liệu việc lắp ráp phần cứng đã trong trạng thái tốt và sẵn sàng để sử dụng?

Kiểm thử:

- Điều kiện bề mặt lắp ráp.
- Điều kiện đường ren.
- Đáy khoan của các khe cấm.

- Đầu cách ly.
- Điện trở cách ly.
- Hư hại đầu nối bởi lực xoắn quá mức.
- Lỗ khoan và độ sâu được đo đủ lượng.
- Hiệu chỉnh kích thước lắp ráp.
- Lỗ được đặt thẳng góc thích hợp với bề mặt lắp ráp.
- Đường ren của đầu nối đã được bôi trơn.
- Sensor đã được ráp với độ xoắn khuyến nghị.

Gắn kết mối lắp.

Kiểm nghiệm:

- Bề mặt lắp ráp sạch và phẳng.
- Trám cement chỗ bề mặt lỗi lõm.
- Trộn cement một cách thích hợp.
- Sensor được ráp vào đầu gắn cement với lực xoắn khuyến nghị.

Đường cáp.

Đường cáp đã trong tình trạng tốt và sẵn sàng để sử dụng?

Kiểm thử:

- Điều kiện vật lý.
- Xoắn dây cáp, ép dẹp.
- Các đường ren của đầu nối, các chân cắm.
- Kiểm tra độ sạch của các đầu nối.
- Tính liên tục.
- Điện trở cách ly.
- Điện dung.
- Gắn chặt tất cả các đầu nối cáp.

- Cấp được rải căng thích hợp.
- Quán phần cáp dư và cột lại.
- Lắp vòng cuộn cho thoát nước đọng.
- Gắn kín các đầu nối và bọc kín, nếu cần.

Nguồn cung cấp, khuyếch đại, bộ phận chỉ thị.

Các bộ phận này đã trong tình trạng tốt và sẵn sàng để sử dụng?

Kiểm thử:

- Cập nhật hiệu chuẩn.
- Điều kiện vật lý.
- Các đầu nối.
- Hòm hộp bao gói.
- Các cáp ra.
- Kiểm tra độ sạch của các đầu nối.
- Lắp ráp cứng vững.
- Gắn chặt tất cả các đầu nối cáp.
- Gắn kín vỏ hộp khuyếch đại, nếu cần.
- Nên tiếp địa trong quá trình sử dụng.

Một khi các vấn đề trên đã được giải đáp một cách thỏa đáng đối với người sử dụng, thì hệ đo lường có khả năng cao cung cấp các dữ liệu chính xác.

1.4.4 – Kết quả và chuẩn hoá.

Các cảm biến được dùng một cách thông dụng nhất để làm cho các phép đo có khả năng định lượng, ngược lại với sự khám phá định tính hoặc sự hiện diện cảm biến. Do đó, rõ ràng là những nhu cầu của phép đo sẽ xác định sự lựa chọn và ứng dụng của cảm biến. Vậy thì bằng cách nào ta có thể định lượng được những yêu cầu của phép đo ?

Trước tiên, ta phải nhận thức cần đo cái gì. Trên thị trường có sẵn các cảm biến để đo bất kỳ những gì mà anh có thể nghĩ ra, và cả nhiều thứ mà anh sẽ không bao giờ nghĩ tới (nhưng một vài người lại nghĩ tới!). Áp suất, nhiệt độ và lưu lượng có lẽ là những phép đo thông thường nhất vì chúng liên quan tới việc kiểm tra và điều khiển nhiều quá trình công nghệ và gia công vật liệu. Một chuyến tham quan ngắn vào triển lãm Sensors Expo hay lướt nhanh trên internet cũng đủ để kê tên hàng trăm, nếu không là hàng ngàn, các đại lượng, đặc tính hay hiện tượng có thể đo lường được bằng các cảm biến sensors.

Điều thứ hai, ta phải lưu ý quan tâm đến môi trường cảm biến. Các hiệu ứng môi trường có lẽ là đóng góp lớn nhất cho các sai số trong hầu hết các hệ đo lường. Các cảm biến, và dường như là cả hệ thống đo lường, phản ứng tới môi trường tổng hợp của chúng, không chỉ phản ứng với đối tượng đo. Trong những trường hợp cực đoan, phản ứng đối với tổ hợp các môi trường có thể lớn hơn phản ứng đối với đối tượng đo mong muốn. Một trong những thách thức lớn nhất của nhà thiết kế cảm biến là giảm thiểu phản ứng tới môi trường và làm tăng tối đa phản ứng đối với đối tượng đo mong muốn. Việc đánh giá môi trường và ước lượng hiệu ứng của nó lên hệ đo lường là một phần đặc biệt quan trọng của quá trình lựa chọn và ứng dụng cảm biến.

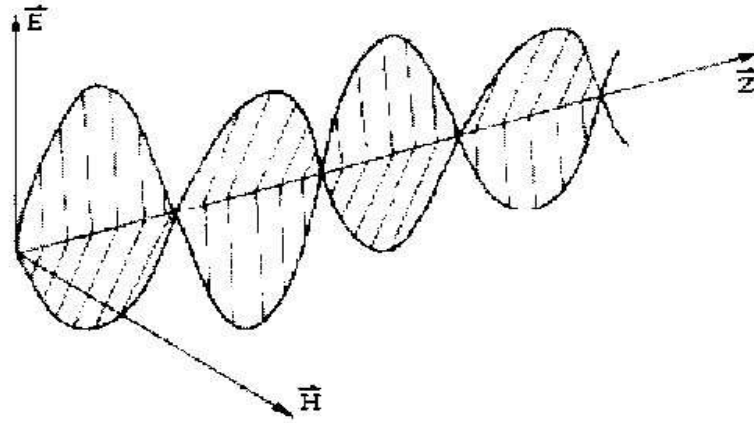
Môi trường không chỉ bao gồm các thông số như nhiệt độ, áp suất và độ rung động, mà còn cả việc lắp ráp hay ghép kẹp cảm biến, các hiệu ứng điện-từ và tĩnh điện, và tốc độ thay đổi của những môi trường khác nhau. Ví dụ: một cảm biến có thể bị ảnh hưởng ít bởi nhiệt độ cao tột độ, nhưng có thể tạo ra những sai số khủng khiếp khi nhiệt độ biến động nhanh (“độ nhạy biến thiên nhiệt thoáng qua”).

Thứ ba là ta phải xem xét các yêu cầu về độ chính xác (độ bất định) của phép đo. Thông thường, ta mong đạt tới độ bất định nhỏ nhất có thể, nhưng điều đó có thể không khả thi về mặt kinh tế, hoặc thậm chí là cần thiết. Thông tin rút ra từ phép đo sẽ được sử dụng như thế nào? Cuối cùng thì độ bất định là 1% hay 1½% có gì thực sự khác biệt?

Các dữ liệu cảm biến có độ chính xác cao liệu có bị che khuất bởi sự thiếu chính xác trong quá trình chuẩn hoá tín hiệu hay trong quá trình ghi nhận số đo? Mặt khác, nhiều hệ thu thập dữ liệu hiện đại có dung lượng độ chính xác lớn hơn nhiều so với các sai số do phép đo gây ra. Người sử dụng sẽ không bị lừa dối bởi ý nghĩ cho rằng độ phân giải cao trong hệ thu thập dữ liệu sẽ tạo ra dữ liệu có độ chính xác cao từ một cảm biến có độ chính xác thấp.

Điều cuối cùng, mà không phải là hết, là người sử dụng phải chắc chắn rằng toàn bộ hệ đã được hiệu chuẩn và có khả năng được cấp chứng chỉ của cơ quan tiêu chuẩn quốc gia (ví như Viện tiêu chuẩn và công nghệ quốc gia NIST ở Hoakỳ). Không có khả năng bằng chứng được công nhận thì tính bất định của phép đo bất kỳ cũng không biết được. Hoặc là mỗi một phần của hệ đo lường phải được hiệu chuẩn và tính độ bất định ở mọi chỗ, hoặc phải hiệu chuẩn toàn bộ hệ như nó sẽ được đưa vào sử dụng (“hiệu chuẩn hệ thống” hay “hiệu chuẩn đầu này tới đầu kia”). Bởi vì đa số các cảm biến không có khả năng hiệu chỉnh nào để “hiệu chuẩn” theo công ước, thông thường nhất đòi hỏi phải có một sự đặc tính hoá hay sự đánh giá các thông số của cảm biến sensor. Đối với độ bất định thấp nhất trong phép đo, sự đặc tính hoá nên thực hiện với sự lắp ráp và môi trường càng giống với các điều kiện đo lường thực tế càng tốt.

Kết cục phần này có thể nói ngắn gọn: Cảm biến phải được nhìn nhận và gắn kết một cách cẩn thận với, và được tích hợp vào, với toàn bộ hệ đo lường và môi trường của nó.



Hình 2.1 – Sóng ánh sáng hợp với vector cường độ điện trường \vec{E} và cường độ từ trường \vec{H} thành một tam diện vuông góc.

Ánh sáng có bản chất là bức xạ dao động (sóng) điện-từ. Mặt trời là nguồn sáng thiên nhiên lớn nhất. Đèn điện sợi đốt, đèn neon, đèn LED hay laser ... là những nguồn sáng nhân tạo, do năng lượng điện chuyển hóa thành năng lượng ánh sáng, hay còn gọi là năng lượng bức xạ, theo nhiều cách khác nhau (ví dụ: bức xạ nhiệt của đèn sợi đốt). Ánh sáng nhìn thấy được (khả kiến – loại ánh sáng thích hợp với mắt người) chỉ là một phần nhỏ trong dải phổ rất rộng của sóng điện-từ. Dải phổ này (gọi là dải phổ nhìn thấy được – dải khả kiến) có tần số từ rất thấp (tương đương tần số điện công nghiệp), đến tần số cao có thể phát ra vũ trụ.

Những tính chất quan trọng của ánh sáng là phản xạ, khúc xạ, giao thoa và phân cực. Vận tốc ánh sáng trong chân không khoảng ba trăm ngàn kilomet/giây, tức là $c = 299792 \text{ [km/s]} \approx 3.10^5 \text{ [km/s]} = 3.10^8 \text{ [m/s]}$. Vận tốc lan truyền ánh sáng trong môi trường có chiết suất n bằng:

$$g = \frac{c}{n}. \quad (2.1)$$

Quan hệ giữa vận tốc lan truyền ánh sáng g với tần số ν và bước sóng λ của ánh sáng là:

BÀI 2

KỸ THUẬT CẢM BIẾN ÁNH SÁNG

Chương 2

CẢM BIẾN VÀ ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG ÁNH SÁNG

Mục tiêu bài này tập trung vào những khái niệm cơ bản về kỹ thuật ánh sáng và cảm biến ánh sáng ứng dụng trong đo lường và điều khiển – gồm chương 2.

Nội dung cơ bản mà SV phải nắm được ở bài này là những vấn đề trọng tâm sau:

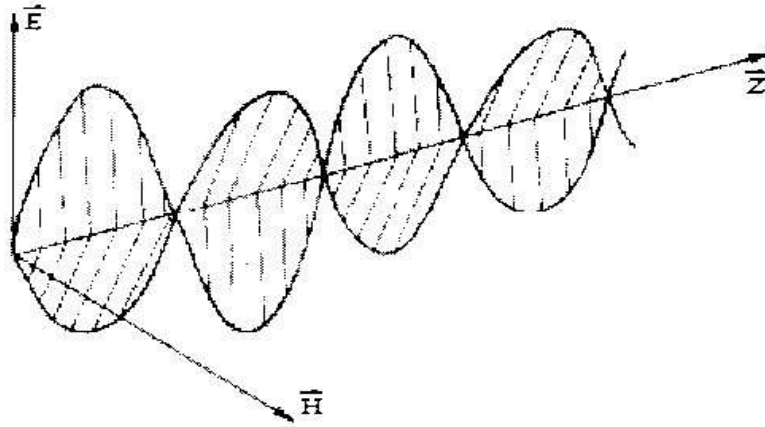
- Khái niệm cơ bản về ánh sáng và những thông số đặc trưng của nó. Các loại phần tử cảm biến ánh sáng ứng dụng trong kỹ thuật đo lường điều khiển, kết cấu, hoạt động chức năng, các đặc tính kỹ thuật, đặc điểm ứng dụng.
- Các vấn đề ứng dụng thực tiễn các nguồn phát xạ ánh sáng và phần tử cảm biến ánh sáng trong các hệ thống tin đo lường và điều khiển để có nhận thức và kỹ năng tổng hợp, thiết kế và chế tạo hệ thống cụ thể trong thực tế môi trường ứng dụng.

Thời lượng bài giảng là 04 tiết/45 tiết lên lớp theo chương trình môn học là 03TC (45 tiết) và 04 tiết tự nghiên cứu.

2.1 – Những khái niệm cơ bản về ánh sáng.

2.1.1 – Khái niệm ánh sáng.

Ánh sáng – là bức xạ sóng điện-từ phẳng, có bản chất sóng và hạt (hình 2.1).



Hình 2.1 – Sóng ánh sáng hợp với vector cường độ điện trường \vec{E} và cường độ từ trường \vec{H} thành một tam diện vuông góc.

Ánh sáng có bản chất là bức xạ dao động (sóng) điện-từ. Mặt trời là nguồn sáng thiên nhiên lớn nhất. Đèn điện sợi đốt, đèn neon, đèn LED hay laser ... là những nguồn sáng nhân tạo, do năng lượng điện chuyển hóa thành năng lượng ánh sáng, hay còn gọi là năng lượng bức xạ, theo nhiều cách khác nhau (ví dụ: bức xạ nhiệt của đèn sợi đốt). Ánh sáng nhìn thấy được (khả kiến – loại ánh sáng thích hợp với mắt người) chỉ là một phần nhỏ trong dải phổ rất rộng của sóng điện-từ. Dải phổ này (gọi là dải phổ nhìn thấy được – dải khả kiến) có tần số từ rất thấp (tương đương tần số điện công nghiệp), đến tần số cao có thể phát ra vũ trụ.

Những tính chất quan trọng của ánh sáng là phản xạ, khúc xạ, giao thoa và phân cực. Vận tốc ánh sáng trong chân không khoảng ba trăm ngàn kilomet/giây, tức là $c = 299792 \text{ [km/s]} \approx 3 \cdot 10^5 \text{ [km/s]} = 3 \cdot 10^8 \text{ [m/s]}$. Vận tốc lan truyền ánh sáng trong môi trường có chiết suất n bằng:

$$g = \frac{c}{n}. \quad (2.1)$$

Quan hệ giữa vận tốc lan truyền ánh sáng g với tần số ν và bước sóng λ của ánh sáng là:

$$\lambda = \frac{g}{\nu}; \quad (2.2)$$

và trong chân không thì ánh sáng có bước sóng:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \cong \frac{3 \cdot 10^8}{\nu}; [\text{m}]. \quad (2.3)$$

Phổ bức xạ. Bức xạ phân ra:

- Bức xạ đơn phổ – bức xạ có một độ dài bước sóng nhất định; và:
- Bức xạ đa phổ – gồm nhiều bức xạ thành phần đơn phổ, dạng rời rạc hay liên tục.

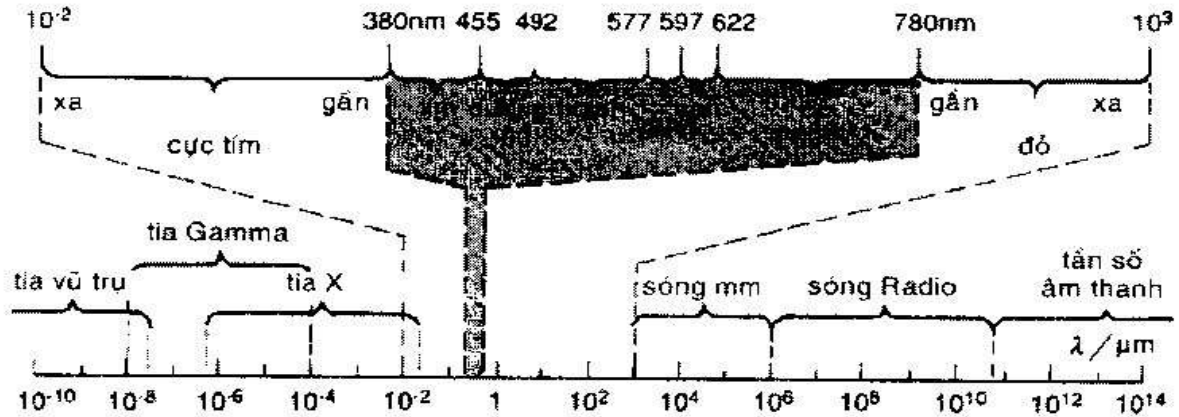
Dải bức xạ điện-từ nằm giữa bức xạ Roentgen (tia tử ngoại) và bức xạ vô tuyến hồng ngoại gọi là bức xạ quang (370 ÷ 770 [nm]), còn được gọi là ánh sáng nhìn thấy (dải khả kiến). Bức xạ hồng ngoại có tác dụng sấy nóng, đốt nóng, dùng trong kỹ thuật phim ảnh ... Bức xạ tử ngoại có tác dụng sinh hoá mạnh (bảng 2.1).

Bảng 2.1 – Phổ ánh sáng và các dải màu của phổ.

0,01	0,358	0,370	0,435	0,490	0,575	0,580	0,650	0,760	0,770	μm
Roentgen	[Cực tím]	[Tím]	[Lam]	[Lục]	[Vàng]	[Da cam]	[Đỏ]	[Hồng ngoại]	Vô tuyến cực ngắn	
	<i>Tử ngoại</i>	Ánh sáng nhìn thấy (khả kiến)					<i>Hồng ngoại Vô tuyến</i>			

Tia đỏ (hồng ngoại), và tia tím (tử ngoại) cũng được phân loại là bức xạ sóng ánh sáng, nhưng là ánh sáng không nhìn thấy bằng mắt thường của người được. Ta thấy màu ánh sáng phụ thuộc độ dài sóng. Tia đỏ (IR *Infra-Red*) có độ dài bước sóng λ từ 780 [nm] đến 10^6 [nm], sóng ánh sáng này có thể thấy được dưới dạng ánh sáng màu đỏ tối, giáp cận dưới dải sóng vô tuyến LW (*Low Wave*). Tia cực tím (UV *Ultra-Violet*) có độ dài λ từ 10 [nm] đến 380 [nm], tia sáng này có thể thấy được dưới dạng ánh sáng màu tím thẫm, giáp cận trên của sóng có λ ngắn hơn (tia Roentgen).

Hình 2.2 minh họa dải phổ bức xạ điện-từ được thể hiện theo thang độ dài sóng. Đơn vị độ dài thường dùng ở đây là *micron* ($1 \mu\text{m} = 1 \times 10^{-6} [\text{m}]$).



Hình 2.2 – Dải phổ bức xạ sóng điện-từ.

Ánh sáng tương tác với vật chất thông qua tính chất hạt của nó – hạt *photon*, mà năng lượng chỉ tùy thuộc tần số:

$$W = h\nu; \quad (2.4)$$

ở đây: h - hằng số Planck ($h = 6,6256 \cdot 10^{-34}$ [J.s]).

Khi chiếu sáng vật chất, các photon có năng lượng đủ cung cấp cho các điện tử hoá trị trong nguyên tử vật chất thì có thể giải phóng điện tử. Năng lượng đó tương đương bước sóng ngưỡng mức chặn của nguyên tử vật chất:

$$\lambda_{\max} = \frac{hc}{W} = \frac{1,237}{W[eV]}. \quad (2.5)$$

Photon là một hạt cơ bản đặc biệt, có khối lượng nghỉ bằng 0 (nghĩa là luôn luôn chuyển động với vận tốc ánh sáng). Photon có năng lượng đủ lớn khi va chạm với hạt nhân có thể sinh ra cặp electron-positron (sinh cặp); ngược lại, khi hạt gặp phản hạt thì hủy thành photon (hủy cặp). Photon có thể bị nguyên tử hấp thụ hoàn toàn (để chuyển sang một mức năng lượng cao hơn), và khi một nguyên tử chuyển từ một mức năng lượng cao xuống mức thấp hơn, nó cũng bức xạ một photon. Đó chính là nguyên lý cơ bản được ứng dụng trong tất cả các phần tử cảm biến hay phát xạ ánh sáng.

2.1.2 – Định nghĩa khái niệm các đại lượng quang.

- Quang năng Q ; tính bằng đơn vị [J] *Joule* hoặc [lm.s] – năng lượng phát xạ, lan truyền hoặc bị hấp thụ dưới dạng bức xạ quang học. Quang năng là đại lượng đặc trưng phần năng lượng ánh sáng có tác dụng kích thích thần kinh thị giác trong một chùm sáng, có trị số bằng tích của quang thông với thời gian.
- Quang thông Φ ; tính bằng [W] *Watt* hay [lm] *Lumen* – công suất phát xạ, lan truyền hoặc bị hấp thụ dưới dạng năng lượng bức xạ quang học được phát ra bởi nguồn sáng trong một đơn vị thời gian, được xem là công suất bức xạ hay thông lượng bức xạ, đặc trưng cho công suất ánh sáng toàn phần của nguồn.

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}; [\text{lm}]. \quad (2.6)$$

Quang thông là đại lượng đặc trưng cảm giác về ánh sáng mà chùm bức xạ gây cho mắt người, được đánh giá theo tác dụng của ánh sáng lên thị giác con người, là hiệu suất ánh sáng phổ tương đối $K(\lambda)$. Nếu bức xạ là đơn phổ thì:

$$\Phi_{\lambda} = C Q_{\lambda} K(\lambda). \quad (2.7)$$

Nếu bức xạ là đa phổ rời rạc thì:

$$\Phi_{\lambda} = C \sum_{370}^{770} Q_{\lambda_i} K(\lambda) \quad (2.8)$$

Nếu là bức xạ đa phổ liên tục, thì:

$$\Phi_{\lambda} = C \int_{\lambda=370}^{770} Q_{\lambda_i} K(\lambda) d\lambda. \quad (2.9)$$

$K(\lambda)$ được chuẩn hoá với ánh sáng ban ngày, nên quy đổi quang năng đơn phổ sang quang thông sẽ là:

$$\Phi_{\lambda} = 683 \cdot Q_{\lambda} K(\lambda). \quad (2.10)$$

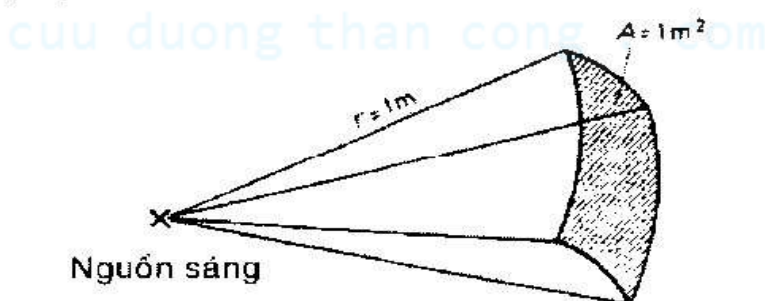
Thông lượng bức xạ có thứ nguyên của công suất, nên quang thông cũng tương đương với công suất, nhưng không hoàn toàn đồng

nhất với công suất, vì vậy được đo bằng một đơn vị riêng (lumen). Một bóng đèn sợi đốt 40[W]/220[V] cung cấp một thông lượng ánh sáng (400 ÷ 450) lumens. Một đèn huỳnh quang 40 [W]/220[V] xấp xỉ 2000 đến 3000 lumens, tùy từng loại.

- Cường độ ánh sáng I ; tính bằng [W/sr] *Watt/steradian* hay [cd] *candela* – là quang thông phát xạ theo một hướng, dưới một đơn vị góc khối Ω :

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (2.11)$$

Mật độ phân bố quang thông trong không gian theo các hướng bằng tỷ số quang thông trên góc khối không gian Ω (mặt cầu) có đỉnh tại nguồn sáng điểm, mà trong phạm vi giới hạn không gian đó quang thông được coi như phân bố đều, gọi là cường độ sáng. Hình 2.3 minh họa hình khối mặt cầu, diện tích mặt cầu $1[m^2]$, bán kính tới nguồn là $1[m]$.



Hình 2.3 – Minh họa hình khối mặt cầu.

Cường độ sáng của một nguồn sáng là đại lượng đặc trưng độ lớn của quang thông do nguồn bức xạ ra, có độ lớn bằng quang thông bức xạ từ nguồn trong một đơn vị góc khối. Khái niệm này chỉ đúng cho nguồn sáng điểm (sẽ nêu ở phần dưới). Góc cầu là tỷ số diện tích mặt cầu giới hạn bởi góc khối và bình phương bán kính hình cầu:

$$\Omega = \frac{S}{R^2} [\text{St}]; \quad \Omega_{\max} = 4\pi \quad (2.12)$$

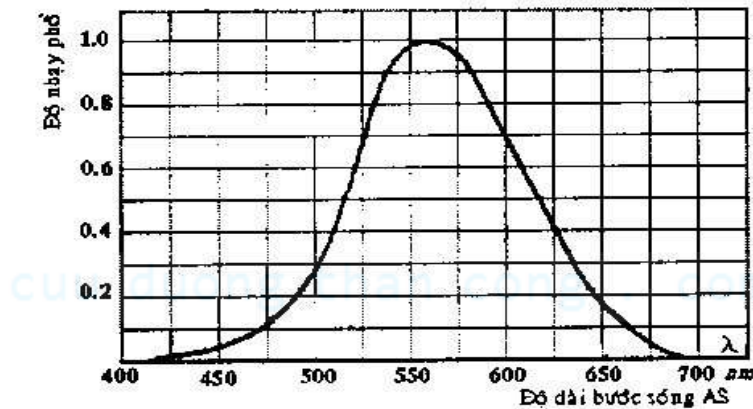
Candela – là đơn vị cường độ sáng của nguồn sáng điểm theo một hướng nào đó với tần số bức xạ $f_\lambda = 540.10^{12}$ [Hz] và cường độ năng lượng bằng 1/683 [W/St].

Khi không nêu rõ phương thì thuật ngữ “cường độ sáng” thường chỉ cường độ sáng trung bình (cường độ sáng của một nguồn có cùng quang thông như một nguồn sáng điểm nhưng bức xạ đều theo mọi phương), tính đơn giản bằng quang thông toàn phần của nguồn sáng chia cho 4π .

• Độ chói L ; tính bằng $[W/st.m^2]$ hay $[cd/m^2]$ – là tỷ số cường độ sáng phát xạ theo một hướng nhất định bởi bề mặt ngoài của một nguồn sáng kích thước hữu hạn có diện tích quy chiếu vuông góc với hướng phát xạ dA_n , trên diện tích quy chiếu đó.

$$L = \frac{dI}{dA_n} \quad (2.13)$$

Độ chói được đánh giá theo tác dụng thị giác của nó, bởi độ rọi lên võng mạc mắt phụ thuộc vào mật độ quang thông. Tương ứng, dQ là quang thông phần bề mặt sáng chiếu lên con người mắt; dA là diện tích ảnh của phần bề mặt này trên võng mạc; τ là hệ số xuyên thấu của thủy tinh thể.



Hình 2.4 – Độ nhạy của mắt theo bước sóng ánh sáng.

Trong vùng ánh sáng nhìn thấy được, mắt người cảm nhận độ nhạy ánh sáng khác nhau đối với những màu sắc khác nhau. Hình 2.4 là độ nhạy của mắt người theo bước sóng ánh sáng; độ nhạy cực đại của mắt người là đối với ánh sáng có bước sóng $\lambda = 555$ [nm], tương ứng với ánh sáng màu xanh dương hoặc màu vàng. Độ nhạy của mắt tại $\lambda = 555$ [nm] ứng với giá trị bằng 1 như trong hình vẽ. Đối với bước sóng ngắn hoặc dài hơn thì độ nhạy của mắt giảm và tiến tới 0.

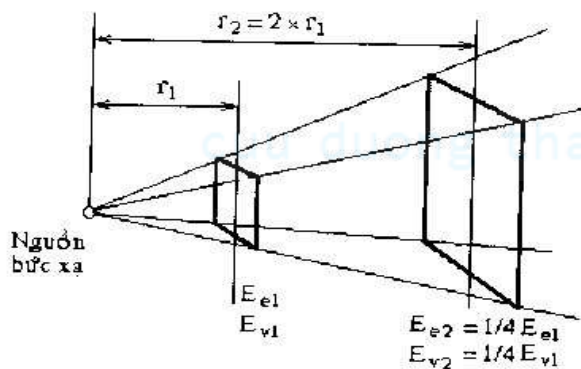
Độ chói là đại lượng đặc trưng cho mật độ chiếu sáng về diện tích và cả theo hướng. Quan hệ giữa thông lượng ánh sáng và độ chói được mô tả trong hình 2.5.

• Độ rọi E ; tính bằng $[W/m^2]$ hay [lx] lux – là tỷ số giữa quang thông hấp thụ bởi một diện tích bề mặt, trên diện tích bề mặt đó.

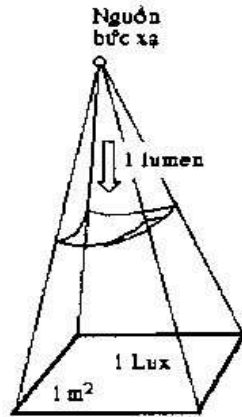
$$E = \tau \frac{d\Phi}{dA}; \quad (2.14)$$

trong đó: τ - hệ số xuyên thấu của hệ quang.

Độ rọi là đại lượng đặc trưng quang thông rọi lên bề mặt được chiếu sáng. Vì bề mặt thường lồi lõm không đều, nên độ rọi không đặc trưng cho toàn bộ bề mặt mà chỉ hạn chế độ rọi của điểm trên bề mặt đó, còn đối với bề mặt thì đặc trưng bởi độ rọi trung bình. Lux [lx] là độ rọi tạo bởi nguồn sáng có quang thông 1[lm] chiếu đều trên bề mặt có diện tích 1[m²], tức là: $1[\text{lx}] = 1[\text{lm}/\text{m}^2]$. Hình 2.6 là quan hệ giữa quang thông và độ rọi.



Hình 2.5 – Quan hệ giữa thông lượng và độ chói (qui tắc hình vuông ngược).



Hình 2.6 – Quan hệ giữa quang thông và độ rọi.

Trên mặt đất, ánh sáng mặt trời cung cấp độ chói $E = (50 \div 100) \cdot 10^3$ [lx]; ngày nắng thì có thể hơn một trăm ngàn lux. Nhưng mặt trăng chỉ cung cấp $E = 0,1$ [lx]; đêm trăng sáng có thể đến $0,25$ [lx]. Thường thì ánh sáng của một căn hộ và nhà xưởng có độ rọi là 150 [lx]; trong phòng làm việc $E = 300$ [lx] và có thể đạt một ngàn lux cho những nơi làm việc tốt; còn ngoài phố xá thì chỉ khoảng vài lux ($2 \div 4$ [lx]).

• Độ trưng M ; tính bằng $[lm/m^2]$ – tỷ số quang thông bức xạ hay phản xạ từ bề mặt sáng hoặc bề mặt được chiếu sáng, trên diện tích phần bề mặt đó:

$$M = \frac{dQ}{dS} . \quad (2.15)$$

Độ trưng đặc trưng cho khả năng bức xạ của một nguồn rộng, hiện tượng bề mặt sáng lên do ánh sáng bức xạ hay phản xạ bởi mật độ quang thông của bề mặt phát sáng, chứ không phải mật độ quang thông của bề mặt được chiếu sáng. Mối liên hệ giữa độ trưng M và độ rọi E là:

- nếu bề mặt hoàn toàn phản xạ thì $M = E$;
- nếu phản xạ một phần (f [%] – hệ số phản xạ) thì $M = fE$;

- Nếu xuyên thấu với hệ số xuyên thấu τ [%], thì $M = \tau E$.
- Nhưng việc thay đổi diện tích chiếu sáng cũng rất quan trọng. Điều này khẳng định độ chiếu sáng hoặc độ chói của bề mặt thay đổi tỉ lệ diện tích và khoảng cách bề mặt tới nguồn sáng. Nếu nguồn có độ chói không phụ thuộc phương (vật bức xạ toàn phần) thì giữa độ trưng M và độ chói L có hệ thức đơn giản: $M = \pi.L$. Mối quan hệ này được thể hiện trong hình 2.6 trên.

2.1.3 – Nguồn sáng.

Nguồn sáng là vật tự phát được ánh sáng. Về lý thuyết thì các nguồn bức xạ ánh sáng được coi là nguồn sáng điểm – một nguồn sáng có tỷ lệ kích thước của bản thân nguồn so với khoảng cách từ nó tới một vị trí nhất định nào đó không quá 1/5 lần, được coi là nguồn sáng điểm.

Tuy rằng các nguồn sáng không là bộ phận cảm biến, nhưng trong kỹ thuật công nghệ và nhất là trong đo lường điều khiển, các nguồn này lại thường được sử dụng như một bộ phận phần tử tự động. Do đó ở đây chúng ta khảo sát những đặc điểm kỹ thuật và ứng dụng chủ yếu của chúng:

- Nguồn phát xạ sợi đốt (đèn sợi đốt *Lamp*);
- Nguồn phát xạ bán dẫn (đèn *LED – Light Emitting Diode*);
- Nguồn bức xạ quang học (*LASER – Light Amplification by Stimulated Emission Radiation*).

Đèn sợi đốt – *Lamp*. Cho tới nay, mặc dù đã có sự xuất hiện với nhiều ưu thế hơn của các diodes LED, trong nhiều ứng dụng kỹ thuật vẫn dùng đèn sợi đốt. Một phần, đó là do công nghệ phát triển đã tạo được những đèn sợi đốt có tuổi thọ đến hơn 100 nghìn giờ; kết quả là những phản bác gay gắt nhất đối với việc sử dụng đèn sợi đốt là tuổi thọ hạn chế của chúng thì nay chỉ đúng trong một số trường hợp.

Việc lựa chọn đèn sợi đốt thường được thực hiện theo những tiêu chuẩn sau:

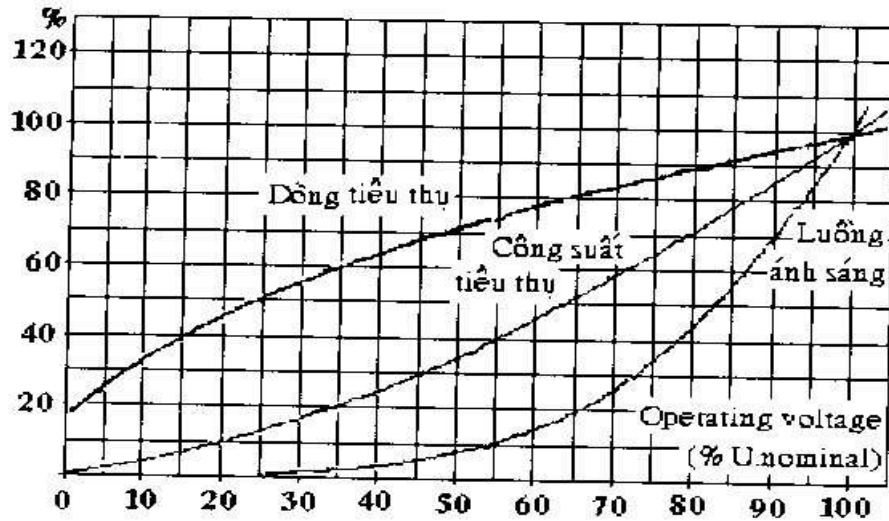
- Tuổi thọ hoạt động của đèn;
- Hình dạng kích cỡ đèn;
- Cường độ phát xạ; và
- Nhiệt độ màu của đèn.

Có công thức tính tuổi thọ hoạt động L_B của đèn wolfram tương quan với điện áp nguồn cung cấp U_B so với tuổi thọ danh định L_N khi sử dụng với nguồn điện áp danh định U_N là:

$$\frac{L_B}{L_N} = \left(\frac{U_N}{U_B} \right)^{(13+14)}. \quad (2.16)$$

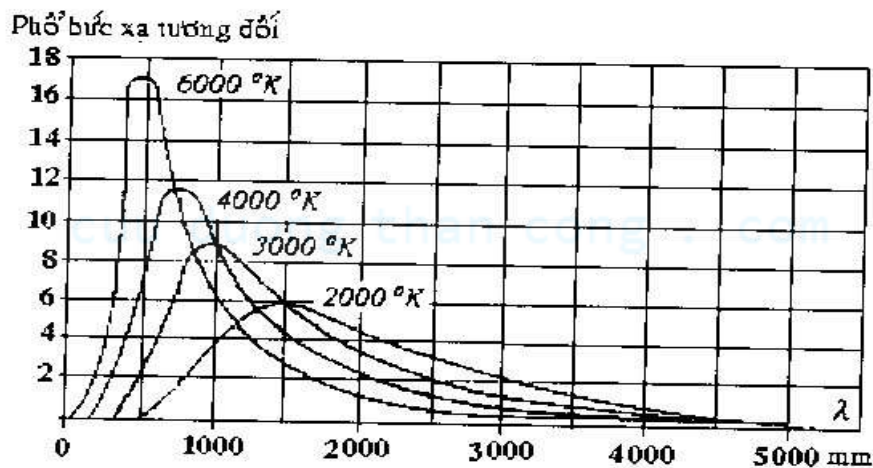
Trong công thức này, số mũ 13 tương ứng với trường hợp đèn chân không, còn số mũ 14 – đèn nạp khí. Công thức này đúng cho trường hợp nguồn điện áp cung cấp cho đèn nằm trong phạm vi $\pm 20\%$ điện áp danh định. Thông thường, giảm điện áp làm việc của đèn đi 5% có nghĩa là tăng tuổi thọ lên gấp đôi, và nếu giảm đi 15% thì tuổi thọ tăng lên cả chục lần, trong khi đó dòng phát sáng cũng chỉ giảm chút ít. Hình 2.7 cho thấy mức độ thay đổi điện trở sợi đốt, cường độ dòng điện và năng lực phát xạ ánh sáng của đèn phụ thuộc vào điện áp cung cấp. Theo đó có thể thấy là dòng khởi động của đèn sợi đốt có thể lớn gấp mười lần dòng điện khi đèn hoạt động, cho nên đèn sợi đốt hay bị cháy khi mới bật lên. Sự quá tải này có thể khắc phục bằng cách hạn dòng, đồng thời như vậy cũng làm tăng tuổi thọ của đèn.

cuu duong than cong . com



Hình 2.7 – Đặc tuyến của đèn sợi đốt khi điện áp cung cấp nhỏ hơn điện áp danh định.

Về hình dạng kích thước của đèn thì có thể nói rằng đèn càng nhỏ càng tốt. Điều này được khích lệ bởi sự phát triển các loại đèn điện áp thấp, 6 hay 12 [V], nạp khí halogen và có bóng đèn bằng vật liệu thủy tinh thạch anh. Sợi đốt dạng dây cuốn ngắn cho phép tạo nguồn sáng điểm với độ chính xác cao; có quán tính nhiệt lớn hơn và do vậy mà trong nhiều trường hợp có thể dùng nguồn điện xoay chiều mà cường độ sáng vẫn không dao động nhiều tới mức nhận thấy được ở điểm so. Ngoài ra, rõ ràng loại đèn điện áp thấp có độ ổn định cơ học cao hơn là các đèn điện áp cao.



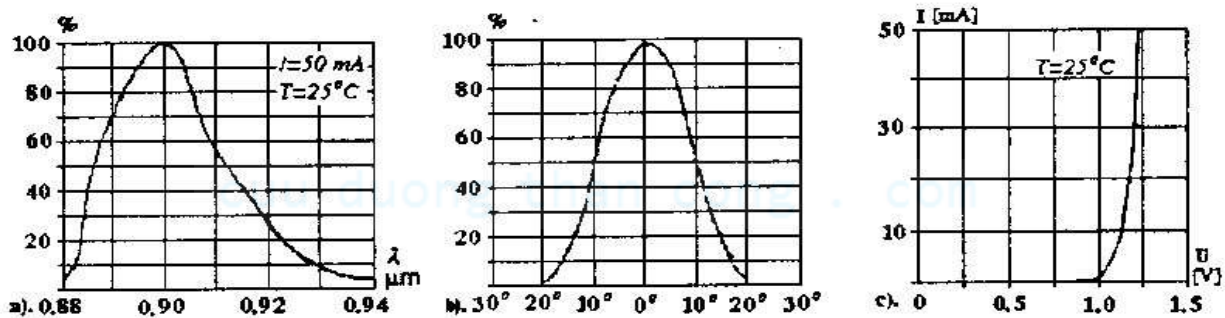
Hình 2.8 – Quan hệ phổ bức xạ ánh sáng và nhiệt độ.

Vấn đề cường độ phát sáng phải tương thích với bộ tách lọc ánh sáng luôn luôn phải được xem xét theo quan điểm tương thích phổ. Điều này có nghĩa nhiệt độ màu là một đại lượng quan trọng. Mặc dầu nhiệt độ màu chỉ mô tả ấn tượng vật lý về màu sắc, nhưng nó cũng cho một sự mô tả chính xác về phổ bức xạ khi sử dụng một vật bức xạ nhiệt như sợi wolfram. Hình 2.8 vẽ đặc tuyến phân bố phổ của ánh sáng phát xạ đối với vật đen, vật xám hay là sợi đốt wolfram, ở đây sợi đốt wolfram có thể coi là vật xám. Đặc tuyến phân bố phổ được xác định theo định lý chuyển vị Wien:

$$g_{\max} \cdot T = 2,898 \cdot 10^{-3} [mK] = const. \quad (2.17)$$

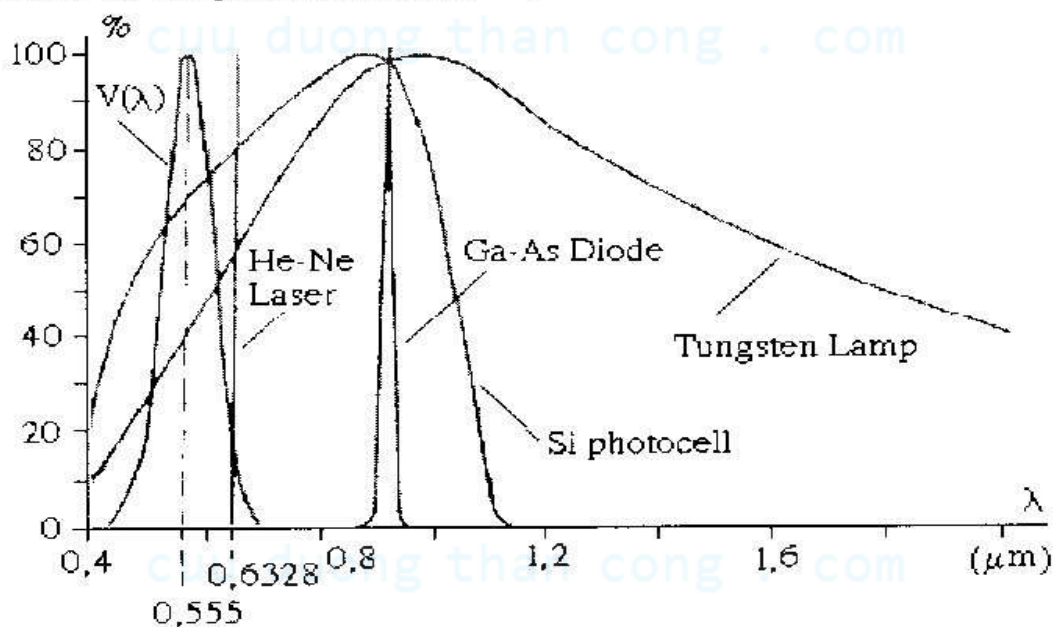
Điều này nói lên rằng khi nhiệt độ tăng, cường độ phát xạ ánh sáng có điểm cực đại nằm ở vùng bước sóng thấp.

LED – Light-Emitting-Diode. Khác với các đèn sợi đốt, thậm chí cả các loại đèn neon, LED tạo ra ánh sáng bởi hiệu ứng quang-điện bên trong vật liệu bán dẫn. Hiệu ứng quang-điện nội trong bán dẫn là hiệu ứng tái tổ hợp các hạt mang điện trong tiếp giáp bán dẫn *p-n* khi phát xạ bức xạ. Bước sóng bức xạ của các đèn LED tùy thuộc vật liệu chất bán dẫn và chất phụ gia kích thích. Vật liệu chung là GaAs (*Gallium Arsenide*), GaAsP (*Gallium Arsenide Phosphide*), và GaP (*Gallium Phosphide*). Diode GaAs phát xạ ánh sáng trong miền hồng ngoại *infrared*, có phạm vi phổ từ 0,88 đến 0,94 [μm], có cực đại ở 0,9 [μm] (hình 2.9).



Hình 2.9 – Các đặc tuyến của diode GaAs: a). Cường độ phát xạ; b). Góc ϵ giữa trục quang của diode và hướng đo; c). Đặc tuyến V-A theo hướng phát xạ.

Phổ bức xạ của LED nằm trong vùng nhạy phổ nhất của các linh kiện cảm quang silicon (hình 2.10). Các diodes GaAsP phát xạ ánh sáng đỏ hoặc vàng, còn các diode GaP thì phát xạ ánh sáng đỏ, vàng hoặc xanh lá cây. Bởi sự phát xạ được tạo ra từ hiệu ứng tái tổ hợp các thành phần mang điện trong chất bán dẫn, nên các diode LED phát xạ ánh sáng lạnh (phân biệt với ánh sáng của các đèn sợi đốt). Hoạt tính của các đèn LED phụ thuộc vào nhiệt độ môi trường, cho nên đó chính là lý do không áp dụng các biện pháp tản nhiệt cho các diode này. Ở trạng thái dẫn, điện áp trên diode là khoảng $(1 \div 2)[V]$, dòng chạy qua khoảng $(5 \div 10)[mA]$ ở chế độ làm việc liên tục, nên công suất tiêu thụ khoảng $(30 \div 50)[mW]$. Song, công suất tiêu thụ nhỏ so với các đèn phát xạ sợi đốt lại không phải là ưu thế duy nhất của các đèn LED. Ưu điểm chính là đáp ứng hầu như tức thời phát xạ khi có dòng chạy qua. Thời gian sáng và tắt có thể đếm cỡ nano-giây, có nghĩa là việc điều biến chế độ sáng-tắt có thể thực hiện với tần suất cỡ GHz.



Hình 2.10 – Phổ các nguồn phát xạ khác nhau và độ nhạy của các linh kiện cảm quang silicon và mắt người.

Tần suất sáng-tắt của LED phụ thuộc trong phạm vi rộng vào các chất phụ gia kích thích. Ví dụ, các diode GaAs có thêm chất kẽm

zinc tác hoạt nhanh hơn là các diode có thêm silicon. Điển hình là tuổi thọ của các đèn LED khoảng 100 000 giờ, (hạn tuổi thọ được xác định khi cường độ phát xạ giảm xuống đến một nửa trị số danh định). Cường độ phát sáng biến thiên gần như tuyến tính với cường độ dòng điện, cho nên số liệu trên cũng đúng cho các đèn LED nói chung. Tuy nhiên, nên nhớ rằng mức điện áp sụt trên LED phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ, có nghĩa là tốt nhất nên dùng nguồn cung cấp là nguồn dòng hằng. Nhưng, thậm chí ngay cả khi sử dụng nguồn dòng hằng, năng lực phát xạ sẽ thay đổi theo nhiệt độ, sẽ giảm xuống khoảng $1 [\%/^{\circ}C]$ gần như tuyến tính với nhiệt độ.

Cũng nên lưu ý tới những ưu điểm của LED là có kích thước nhỏ, kém nhạy với những va đập và rung động.

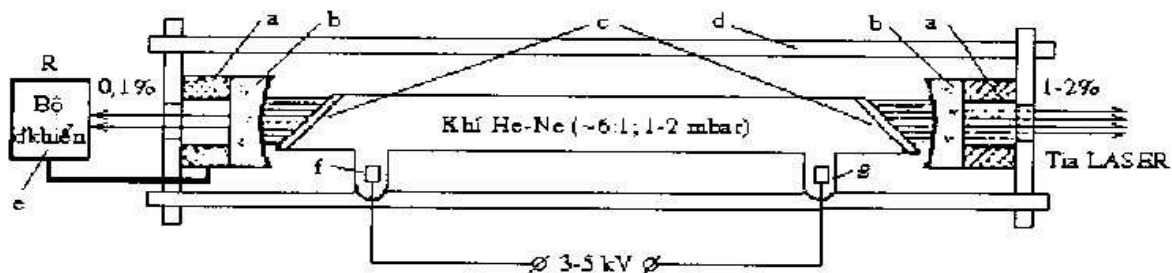
LASER. Tia laser có ưu thế vượt trội các nguồn sáng khác là nó hoàn toàn đơn sắc, có biên độ không đổi và gắn kết chặt chẽ thời gian với không gian. Đơn sắc có nghĩa là chỉ tạo ra bức xạ có một tần số nhất định. Để có thể hiểu được nguyên lý và các đặc tính này của laser, ta nên tìm hiểu các tương quan vật lý laser trên cơ sở laser chất khí – cơ cấu thiết bị laser đầu tiên mà con người tạo ra.

Điểm khởi đầu là mẫu hành nguyên tử của Bohr, mô tả các trạng thái năng lượng của điện tử trong nguyên tử *atom*. Theo thuyết này, các điện tử chuyển động theo các đường cong quỹ đạo quanh hạt nhân nguyên tử *nucleus*, và mỗi đường quỹ đạo tương ứng với một trạng thái năng lượng đặc trưng của điện tử. Điện tử càng ở xa hạt nhân thì năng lượng của nó càng lớn. Bằng cách hấp thụ thêm năng lượng, một điện tử có thể chuyển từ quỹ đạo này sang quỹ đạo khác xa hạt nhân hơn, nhưng số năng lượng mà điện tử hấp thụ được chỉ bằng một số lượng nhất định các lượng tử Planck h . Trạng thái kích thích có thể có được là do tiếp nhận bức xạ điện-từ, do nhiệt lượng hay do va đập trong khoang phóng khí. Nếu điện tử được gia tăng năng lượng từ mức thấp nhất của nó (trên quỹ đạo nguyên thủy của nó khi chưa nhận thêm năng lượng) tới mức cao hơn, thì nó sẽ chỉ ở lại trong trạng thái

năng lượng cao này một khoảng thời gian ngắn ($c\theta (10^{-8} \div 10^{-3}) [s]$). Rồi trở lại trạng thái thường ổn của nó, phát ra năng lượng dưới dạng bức xạ ánh sáng. Tần số bức xạ sẽ tùy thuộc hiệu số năng lượng giữa hai mức chuyển dịch điện tử nêu trên. Khi một nguyên tử được kích năng lượng, rồi trở lại trạng thái thường ổn của nó một cách tự phát, thì không liên quan gì tới phase truyền sóng của vật thể bức xạ, ví như đối với các loại đèn sợi đốt. Hơn nữa, sóng bức xạ đó chỉ có một bước sóng nhất định. Hiệu ứng laser tạo nên được sự kết hợp phase truyền sóng đặc trưng là do nguyên tử bị kích năng lượng, rồi trở lại trạng thái cũ không chỉ một cách tự phát, mà còn bởi các ảnh hưởng bên ngoài tác động, ví như tương tác với một trường điện-từ nào đó bên ngoài (bức xạ bởi kích năng lượng). Do đó, tần số bức xạ do kích năng lượng f_l sẽ tương ứng với hiệu năng giữa hai mức E_a và E_b của điện tử bị kích thích:

$$f_l \cdot h = E_a - E_b; \quad (2.18)$$

ở đây: h là số lượng tử Planck của bức xạ.



Hình 2.11 – Cấu trúc nguyên lý của một laser He-Ne.

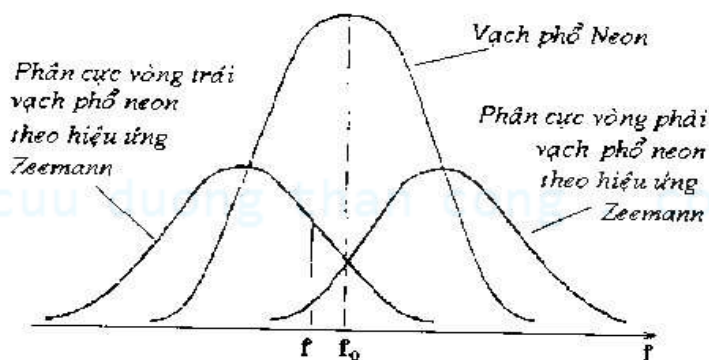
- a). Phần tử electrostrictive; b). Gương hình cầu; c). Cửa sổ chế tác;
- d). Thanh kết nối thạch anh hoặc invar; e). Bộ ổn tần; f). Cathode;
- g). Anode; R – Bộ điều chỉnh tự động.

Một yêu cầu nữa của hiệu ứng laser là phải hấp thụ đủ năng lượng để chắc chắn rằng đã đảo được mức năng lượng cao hơn, cho nên phần năng lượng tạo bức xạ làm phát sáng phải lớn hơn phần năng lượng bị hấp thụ. Trong laser chất khí He-Ne, việc đảo lên các mức

năng lượng cao được lấy từ sự phóng khí. Vật liệu tác hoạt là neon, có hai mức năng lượng và hiệu năng lượng giữa chúng đạt tới bức xạ ở bước sóng $\lambda=0,6328$ [μm] (tức là tần số bức xạ $f = 4,7 \cdot 10^{14}$ [Hz]). Mặc dù như đã biết, helium He có mức năng lượng đa ổn *metastable* ở cùng vị trí như neon, thì cũng không thể làm rỗng mức này bằng bức xạ kích thích. Tuy nhiên, sự va đập không đàn hồi giữa các nguyên tử helium bị kích thích và nguyên tử neon có thể đem lại sự chuyển hoá năng lượng mà từ đó tạo thêm những nguyên tử nữa bị kích thích. Do vậy mà helium chỉ dùng để tạo ra những nguồn kích thích mới, gây nên trạng thái đảo mức năng lượng ở neon. Tỷ lệ hợp chất He:Ne là khoảng 10:1.

Đòi hỏi bức xạ kích thích phải có mật độ năng lượng cao là để đạt được sự nhân bội công suất bức xạ kích thích trên mức bức xạ rối loạn hiện hữu (nhiều loạn). Mật độ năng lượng này đạt được bằng cách hợp nhất khối lượng phóng khí trong một bộ cộng hưởng quang học gồm hai gương phản chiếu hội tụ tương hỗ đặt đối diện nhau (hình 2.11). Một gương phản chiếu hầu như 100%, trong khi gương kia cho xuyên thấu khoảng (1÷2)%. Khi laser được bật, thì thoát đầu có bức xạ ngẫu nhiên và vô hướng được tạo bởi sự hợp nhất ion hoá phù hợp với bức xạ rối loạn của nguyên tử neon. Đa phần bức xạ kích thích ấy bị mất đi, ngoại trừ một phần nhỏ rơi vào gương phản chiếu hội tụ nằm song song với trục của chúng và do đó bị phản chiếu ngược trở lại khoang phóng khí. Phần bức xạ này lại tạo ra bức xạ ánh sáng tiếp theo có cùng phase và cùng bước sóng bằng cách gây ra những nguyên tử neon bị kích năng lượng. Trong khi bức xạ ánh sáng lan truyền song song với đường bức xạ kích thích, và do đó cũng song song với trục khoang cộng hưởng, quá trình này tăng trưởng theo hàm mũ *exponent* cho tới khi đạt được sự cân bằng giữa năng lượng kích thích và năng lượng bị mất. Sự phóng khí tác động giống như bộ khuếch đại ánh sáng có bước sóng đặc trưng nhờ những phản ứng diễn ra trong bộ cộng hưởng quang học. Chiều dài của khoang cộng hưởng xác định độ

chính xác tần số mà laser dao động trong đó, như một vạch phổ có độ rộng khoảng 1,6 [GHz]. Vạch phổ này thoát đầu trông có vẻ cực kỳ rộng, có nghĩa là độ bất định tương đối về tần số là $2,7 \cdot 10^{-6}$. Về mặt nguyên lý, điều này được xác định bằng tương tác giữa các nguyên tử theo hiệu ứng Doppler. Như là kết quả sự chuyển động liên tục của các phân tử khí, tần suất chuyển dịch khác nhau diễn ra tương ứng tốc độ và hướng chuyển dịch của các nguyên tử khác nhau. Tuy nhiên, các ảnh hưởng bên ngoài, ví như nhiệt độ, sẽ làm thay đổi bước sóng bức xạ một cách không thể chấp nhận được, thậm chí cả khi có bộ cộng hưởng. Do vậy, đối với các phép đo tuyến tính, cần độ ổn tần tương đối cỡ 10^{-7} tới 10^{-9} , chỉ có thể đạt được bằng những biện pháp ổn tần phụ. Độ ổn định này có thể đạt được bằng cách thay đổi cơ học khoảng cách giữa hai gương phản chiếu. Một trong hai gương được lắp trên một phần tử áp điện *electrostrictive* (ví dụ làm bằng gốm áp điện *piezoelectric ceramics*) mà độ dài của nó có thể thay đổi được bằng một điện trường ngoài. Hai hiệu ứng quang học được sử dụng làm tiêu chuẩn để hiệu chỉnh là: một là đầu ra của tia laser thu hẹp tới mức tối thiểu ở dạng tự nhiên là tinh chỉnh chính xác vào giữa vạch phổ (*lamp-dip*); hiệu ứng thứ hai là hiệu ứng Zeeman. Chiu ảnh hưởng của từ trường kính tuyến, ánh sáng laser bị tách ra thành hai thành phần phân cực ngược. Hai thành phần này bằng nhau về cường độ nếu tần số cộng hưởng f_0 nằm giữa vạch neon nguyên thủy (hình 2.12).

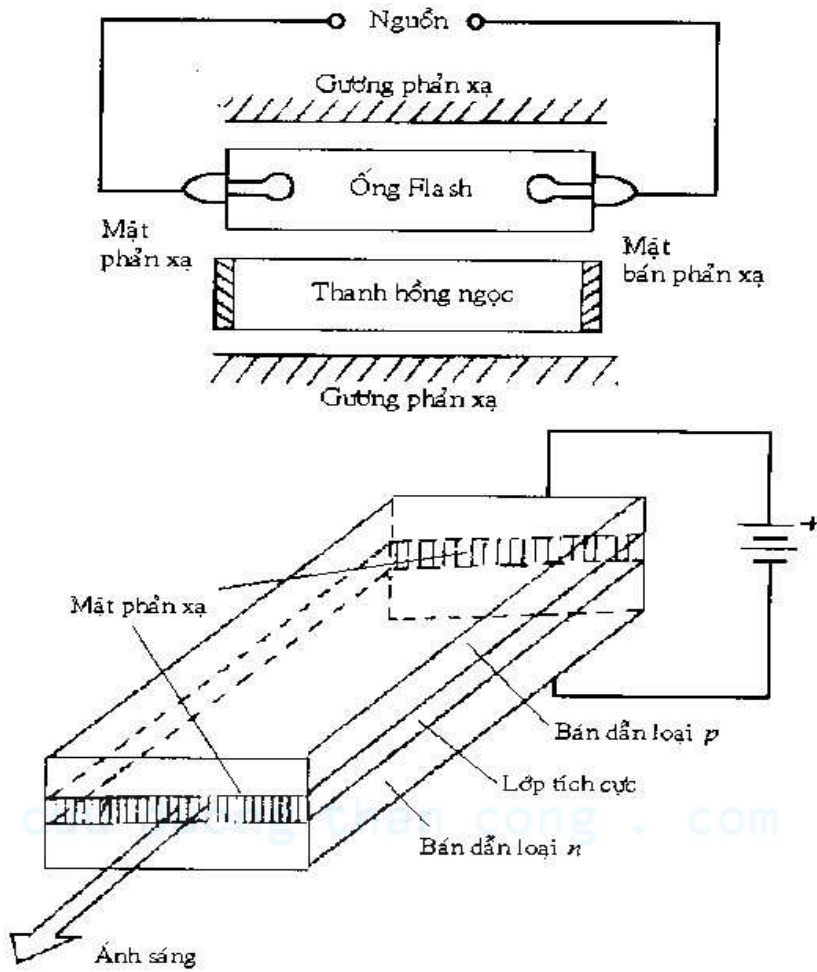


Hình 2.12 – Hiệu ứng Zeeman trên vạch phổ neon.

Nên giới thiệu kỹ hơn một chút về biện pháp điều chỉnh độ ổn tần bằng tế bào hấp thụ Zeeman. Một phần tia bức xạ bị tách đôi ở phần sau của tia laser, phân cực vòng và rồi được thu nhận bởi tế bào hấp thụ Zeeman. Tế bào hấp thụ Zeeman gồm một tế bào neon, được cấp từ trường kính tuyến làm tách đường cong thành hai đường cong đối xứng, một trong đó chỉ điều khiển tia sáng phân cực vòng về phía phải, còn đường cong kia chỉ điều khiển ánh sáng phân cực vòng về phía trái. Điều này có nghĩa là đường cong hấp thụ tương ứng với sự phân tách phổ (hình 2.12). Nếu hướng từ trường bị đảo ngược thì sự phù hợp quay trở lại hướng phân cực. Nếu từ trường được tiếp năng lượng bằng cách dùng điện áp xoay chiều thì sự hấp thụ sẽ biến động tuần hoàn như tần số của ánh sáng laser sai phân khỏi tần số chính f_0 . Trong trường hợp này, một bộ cảm quang đặt đằng sau tế bào hấp thụ cho ra một điện áp xoay chiều. Có thể dùng một bộ chỉnh lưu nhạy pha để nắn sai phân xoay chiều này. Cuối cùng, tín hiệu đầu ra của bộ chỉnh lưu dùng để điều khiển tinh thể áp điện piezo và như vậy điều chỉnh được bước sóng của bộ cộng hưởng. Một cách ngắn hạn, có thể giảm biến động tần số tương đối ($\Delta f / f_0$) xuống cỡ $2 \cdot 10^9$. Tuy nhiên, những thay đổi dài hạn có thể dẫn tới những biến động tần số f_0 giữ ở mức dưới 100 [kHz] trong thời gian một ngày làm việc.

Hình 2.13 giới thiệu nguyên lý LASER chất rắn được kích thích bằng đèn Flash (hình 2.13a) và LASER bán dẫn (hình 2.13b).

cuu duong than cong . com



Hình 2.13 – Nguyên lý: a). LASER chất rắn; b). LASER bán dẫn.

2.2 – Cảm biến quang.

2.2.1 – Nguyên lý cảm biến – Phân loại. Các phần tử quang-điện được phân ra:

- Nguồn phát xạ *Radiation Sources* : được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực, nhất là trong kỹ thuật đo lường và điều khiển, điển hình là các đèn sợi đốt *Incandescent Lamps*, diode phát quang LED *Light-Emitting Diodes*, laser bán dẫn *Laser Diodes*, *LASER Light Amplification by Stimulated Emission Radiation*.

Nguyên lý, đặc điểm ứng dụng của các nguồn phát xạ này đã được trình bày ở phần trên (mục 2.1.3 – Nguồn sáng).

• Cảm biến quang *Photodetectors* : Các phần tử cảm biến quang được chế tạo trên cơ sở ứng dụng hiệu ứng quang-điện trong các chất bán dẫn, theo hai hiệu ứng:

- Hiệu ứng quang-điện nội; và
- Hiệu ứng quang-điện ngoại.

Trường hợp hiệu ứng quang điện nội, là hiện tượng giải phóng các hạt mang điện trong các chất bán dẫn dưới tác dụng ánh sáng: ánh sáng chiếu xạ tạo nên các hạt mang điện làm tăng điện dẫn của nó, gây nên sự thay đổi tính chất (bán dẫn) của vật liệu. Trường hợp hiệu ứng quang điện ngoại, thì các điện tử được giải phóng khỏi bề mặt của vật là do kết quả của việc chiếu tia bức xạ.

Trên cơ sở đó, có thể phân loại các cảm biến quang thành hai nhóm:

• Các phần tử cảm quang – sử dụng hiệu ứng quang-điện nội chủ yếu là các linh kiện quang-điện, khi chịu tác động tương thích của ánh sáng (về tần số, cường độ ... bức xạ), tạo nên các hạt mang điện bên trong chất bán dẫn làm thay đổi tính chất vật liệu, thay đổi thông số trạng thái điện, chủ yếu là tính điện dẫn của phần tử cảm biến.

Các phần tử cảm quang điển hình là:

- điện trở quang *photoresistor* – phần tử cảm quang không có tiếp giáp bán dẫn *p-n*;
- tế bào quang-voltaic *photovoltaic cell*;
- diode-quang *photodiode*;
- transistor-quang *phototransistor*; và
- thyristor-quang *photothyristor*.

• Các phần tử cảm biến phát xạ – dựa trên cơ sở hiệu ứng quang-điện ngoại, hiện tượng giải phóng các điện tử hoá trị khỏi bề mặt vật chất khi bị chiếu xạ tia sáng. Các cảm biến phát xạ làm việc theo cơ chế ba giai đoạn: hấp thụ photon giải phóng điện tử – điện tử

tới được bề mặt phát xạ – điện tử phát xạ khỏi bề mặt vật liệu cathode.

Ứng dụng hiệu ứng này trong các cảm biến phát xạ chủ yếu là điện tử sơ cấp tạo dòng cathode, sau đó có thể:

- được cathode thu nhận trực tiếp – được ứng dụng trong các tế bào quang-dẫn chân không;
- làm ion hoá chất khí – được ứng dụng trong các đèn ion khí (tế bào quang-dẫn nạp khí);
- làm phát xạ thứ cấp kèm theo khuếch đại dòng thứ cấp – được ứng dụng trong các bộ nhân quang-điện.

Các phần tử cảm biến phát xạ điển hình là:

- tế bào quang-dẫn nạp khí *gas-filled photoconductive cell*;
- tế bào quang-dẫn chân không *vacuum photoconductive cell*;
- bộ nhân quang-điện bức xạ thứ cấp *secondary-emission multiplier*; và
- một vài ống phóng tia âm cực TV-cathode ray tubes.

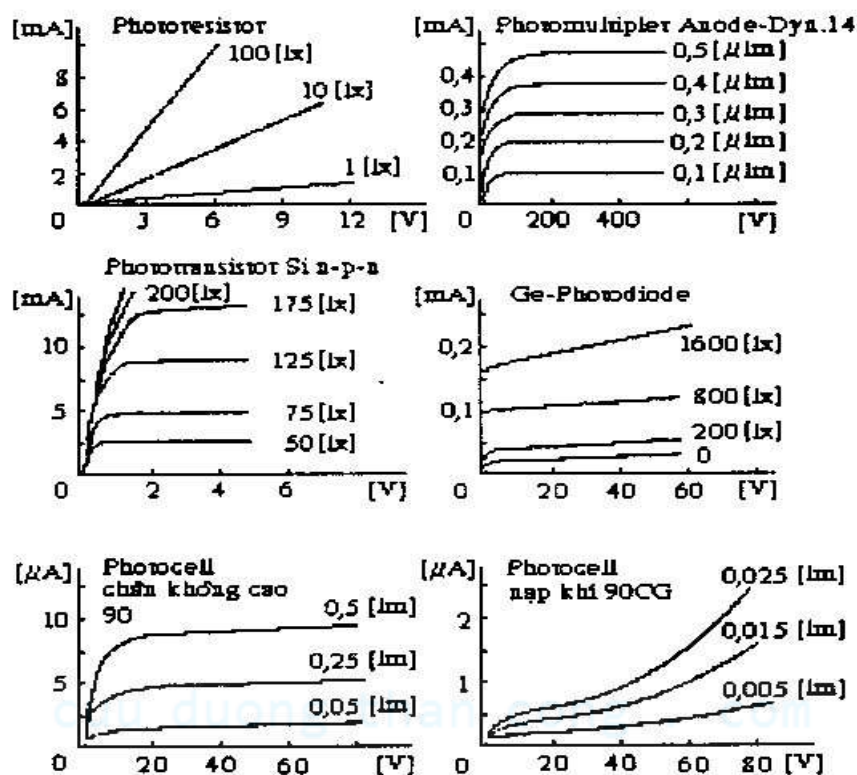
Ngoài những ví dụ nêu trên, còn có một số phần tử dạng đặc biệt như:

- photodiode *p-i-n* PIN;
- photodiode *avalanche* hiệu ứng thác APD;
- photodiode Schottky ...

được chế xuất cho những mục đích chuyên dụng.

Hình 2.14 trình bày một số đặc tuyến V-A của các phần tử cảm biến quang điển hình và hình 2.15 so sánh thông số độ nhạy s và hằng số thời gian T đáp ứng của các phần tử cảm quang. Quang-trở, diode-quang, transistor-quang là linh kiện thụ động, thay đổi nội trở của chúng dưới tác dụng chiếu xạ ánh sáng. Trong khi đó, các tế bào quang-voltaic (nguyên lý cấu tạo tương tự pin-mặt-trời) và các phần tử cảm

quang hiệu ứng quang-điện ngoài thì sinh dòng điện khi nhận tia sáng, nên là những linh kiện tích cực.



Hình 2.14 – Đặc tuyến V-A của các phần tử cảm biến quang-điện.

2.2.2 – Các phần tử cảm quang.

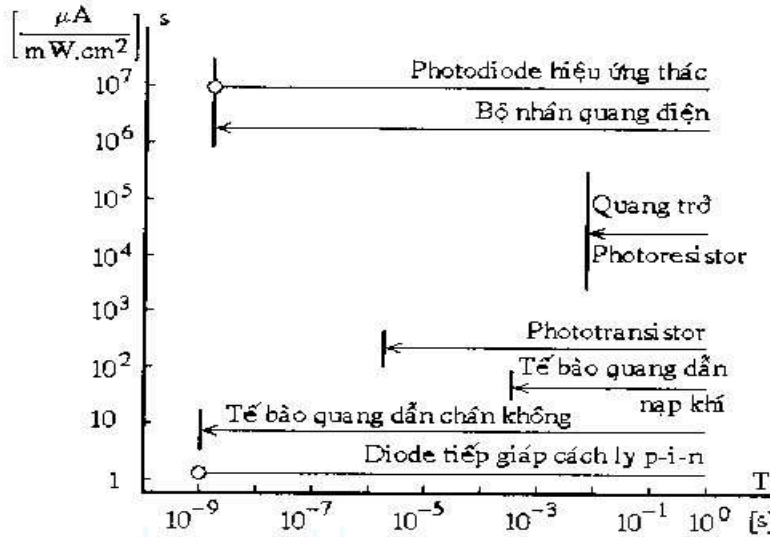
Trong các ứng dụng kỹ thuật thường phải đặc biệt chú ý các thông số của các phần tử cảm biến quang như: kích thước cấu trúc phần tử, phạm vi độ nhạy phổ, tính đơn giản mạch ứng dụng (khuyếch đại, bù ảnh hưởng dòng điện tối ...) và cuối cùng (mà chưa phải đã hết) là giá thành.

- Điện trở tối *Dark Resistance* R_{c0} của các phần tử quang dẫn phụ thuộc bản chất lý-hóa của vật liệu, hình dạng, kích thước và nhiệt độ của tế bào.
- Quan hệ $R(E)$ là phi tuyến (hình 2.16) – điện trở tối giảm nhanh khi được chiếu sáng. Ở nhiệt độ 25 [°C], trị số R_{c0} của các chất

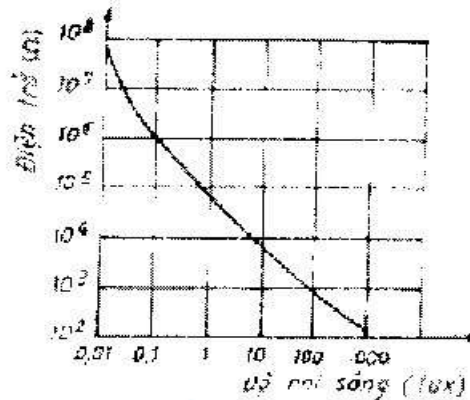
quang dẫn PbS, CdS, CdSe là $(10^4 \div 10^5) [\Omega]$; với các chất SbIn, AbSs, CdHgTe là cỡ $(10 \div 10^3) [\Omega]$.

- Độ nhạy phổ của các phần tử cảm quang:

$$S(\lambda) = \frac{\Delta I}{\Delta \Phi(\lambda)}, [A/W]; \quad (2.19)$$



Hình 2.15 – Độ nhạy s và hằng số thời gian chuyển mạch T của các phần tử cảm quang.



Hình 2.16 – Quan hệ điện trở tế bào quang dẫn và độ rọi.

Ví dụ, với điện áp $U = 10 [V]$, diện tích $d = 1 [cm^2]$ thì độ nhạy phổ cỡ $(0,1 \div 10) [A/W]$.

Do so sánh các thông số quan trọng đó, trên thực tế hầu như mọi lựa chọn đều tập trung vào các tế bào quang-thế voltaic, photodiodes

và phototransistors. Các linh kiện bán dẫn này có một hay hai lớp tiếp giáp suy biến, trong đó các hạt mang điện được tạo nên bởi chiếu xạ làm tăng dòng điện ở trạng thái khoá. Độ nhạy phổ bức xạ, có thể có điểm max ở vùng phổ bức xạ khả kiến (nhìn thấy) hay không nhìn thấy, lại không phụ thuộc vào cấu trúc thành phần bán dẫn riêng lẻ mà hoàn toàn chỉ tùy thuộc chất bán dẫn sử dụng. Các diodes-quang dùng trong kỹ thuật hầu hết được chế tạo từ chất silic, còn germanium chỉ được dùng trong các trường hợp chuyên dụng. Lý do là bởi vì độ nhạy phổ tương đối của silic không chỉ phù hợp nhất đối với phổ bức xạ của các nguồn sáng dùng trong kỹ thuật (như đèn sợi đốt wolfram, diodes GaAs, laser khí He-Ne, ...) (xem hình 2.10) mà giá trị độ nhạy phổ ấy ở miền bức xạ khả kiến là khá lớn. Ngoài ra, germanium có độ nhạy với phổ hồng ngoại, trong nhiều ứng dụng gây nên hiện tượng cảm ứng nhiễu làm tăng dòng tối bởi ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường.

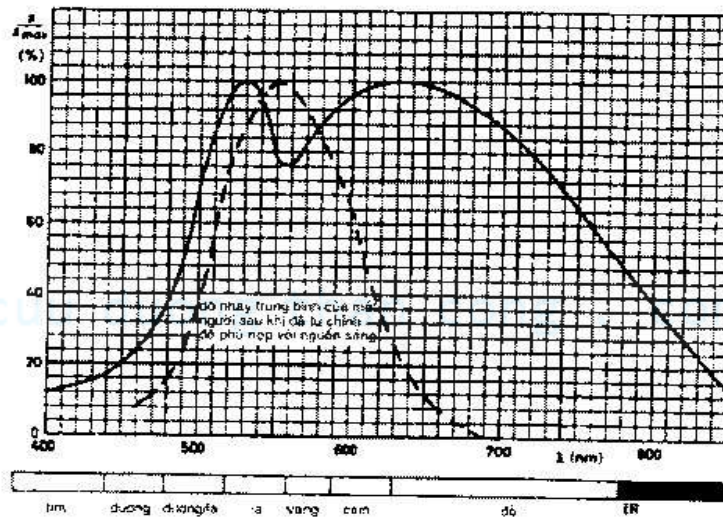
Quang trở *Photoresistor*.

Quang trở là phần tử cảm quang được chế xuất từ vật liệu bán dẫn đa tinh thể nhưng không có tiếp giáp bán dẫn *p-n*. Quang trở có thể làm việc với điện áp một chiều hay xoay chiều. Ánh sáng rọi lên photoresistor phóng thích các điện tử hóa trị từ mạng tinh thể của chất bán dẫn và khiến chúng di chuyển như những điện tử tự do và làm tăng độ dẫn điện, giảm điện trở khi chiếu xạ ánh sáng. Vật liệu chế tạo photoresistors là các chất bán dẫn, CdS *Cadmium Sulphide* và CdSe *Cadmium Selenium*, rất nhạy với phổ ánh sáng khả kiến. Một số quang trở được làm từ PbS (*sulfure chì*) và InSb (*indium antimoine*) có độ nhạy cao đối với phổ ánh sáng vùng tia đỏ (*Infrared*), tuy nhiên ngày nay ít được sử dụng.

Đặc tính quan trọng của photoresistor là điện trở tối R_0 và điện trở sáng R_{III} . Đặc tính này thường được cho trong tài liệu kỹ thuật của hãng chế xuất, dựa trên độ rọi $E_v = 100$ [lx]. Điện trở sáng ở độ rọi $E_v = 1000$ [lx] được ký hiệu R_{100} trong tài liệu.

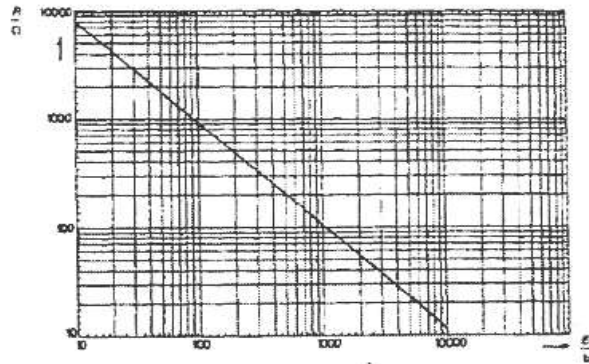
- Điện trở tối R_0 là trị số điện trở photoresistor sau 1 phút sau khi chắn toàn bộ ánh sáng rọi lên nó; điển hình là $R_0 > 10 [M\Omega]$.
- Điện trở sáng R_{III} là trị số điện trở photoresistor tại $E_V = 100 [lx]$ hoặc $E_V = 1000 [lx]$; điển hình là $R_{III} = 500 [\Omega]$ đến $50 [k\Omega]$ tùy loại quang trở.

Hình 2.17 cho thấy mối liên hệ độ nhạy quang trở loại CdS với mắt người. Đồ thị cho thấy vùng quang phổ nơi mà quang trở có độ nhạy tương đối cao.



Hình 2.17 – Độ nhạy tương đối của photoresistor.

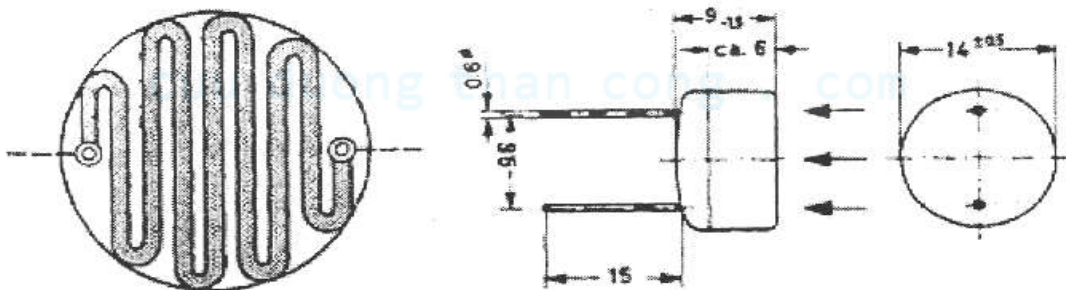
Hình 2.18 cho đặc tuyến của photoresistor loại LDR 03 (hãng Valvo). Đồ thị vẽ theo hệ tọa độ logarithm, nên lưu ý rằng đặc tuyến tuy tuyến tính nhưng không diễn tả mối tương quan tuyến tính giữa cường độ sáng E_V và điện trở R . Những quang trở cùng loại cũng có thể thay đổi thông số chút ít. Theo đồ thị 2.18, photoresistor LDR 03 có điện trở sáng $R_{100} = 1 [k\Omega]$; còn điện trở tối được qui định ở giá trị $R_0 \geq 10 [M\Omega]$. Vì đặc tính điện áp làm việc thấp, quang trở LDR 03 kết hợp với transistor chủ yếu được dùng trong các thiết bị đo lường và kiểm tra.



Hình 2.18 – Đặc tuyến giá trị giới hạn của photoresistor loại LDR 03.

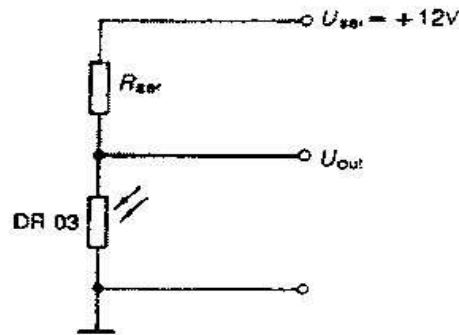
Khi sử dụng quang trở, lưu ý rằng photoresistor biến đổi điện trở theo năng lượng ánh sáng chiếu xạ một cách quán tính, nghĩa là có tính trễ về thời gian (thời gian đáp ứng). Quán tính này trước tiên phụ thuộc vào điểm làm việc và kế đến là cường độ chói thay đổi. Tùy từng loại, sau khi tắt năng lượng ánh sáng chiếu xạ, khoảng 20 giây đến 30 phút, thì điện trở tối của photoresistor mới đạt tới giá trị $R_0 > 1$ [$M\Omega$]. Hiện tượng quán tính là do sự di chuyển tự do của các hạt mang điện khi được chiếu sáng cần phải tái tổ hợp, nghĩa là nó cần phải quay về mối liên kết chặt chẽ trong lưới tinh thể. Do đặc tính thời gian đáp ứng (độ quán tính về thời gian) này mà các photoresistors khó ứng dụng trong những hệ đo lường và điều khiển có các biến thay đổi biến động nhanh.

Hình 2.19 vẽ cấu trúc điển hình và kích cỡ của photoresistor LRD 03. Hình sin của dây điện trở có thể nhìn thấy từ bên ngoài.



Hình 2.19 – Cấu trúc photoresistor.

Ở đây ta lấy ví dụ một ứng dụng đơn giản của photoresistor: mạch phân áp điều khiển bởi ánh sáng chiếu xạ (hình 2.20). Hãy tính sao cho phân áp hình 2.18 có điện áp ra U_{out} cỡ 9 [V] khi độ chiếu xạ ánh sáng $E_v = 30$ [lx] và cỡ 3 [V] khi $E_v = 500$ [lx].



Hình 2.20 – Mạch phân áp điều khiển bằng ánh sáng.

Trường hợp $E_v = 30$ [lx]:

$$I_{(30)} = \frac{U_{out(30)}}{R_{ill}} = \frac{9[V]}{3 \cdot 10^3[\Omega]} = 3 \cdot 10^{-3}[A] = 3[mA];$$

$$R_{ser(30)} = \frac{U_s - U_{out(30)}}{I_{ser(30)}} = \frac{(12 - 9)[V]}{3 \cdot 10^{-3}[A]} = 10^3[\Omega] = 1[k\Omega].$$

Trường hợp $E_v = 500$ [lx]:

$$I_{(500)} = \frac{U_{out(500)}}{R_{ill(500)}} = \frac{3[V]}{200[\Omega]} = 1,5 \cdot 10^{-2}[A] = 15[mA];$$

$$R_{ser(500)} = \frac{U_s - U_{out(500)}}{I_{ser(500)}} = \frac{(12 - 3)[V]}{15 \cdot 10^{-3}[A]} = 0,6 \cdot 10^3[\Omega] = 600[\Omega].$$

Chọn $R_{ser} = 820[\Omega]$. Kiểm tra lại điều kiện điện áp:

$$U_{out(30)} = \frac{U_s}{R_{ser} + R_{ill(30)}} \times R_{ill(30)} = \frac{12[V]}{(820 + 3 \cdot 10^3)[\Omega]} \times 3 \times 10^3[\Omega] = 9,4[V];$$

$$U_{out(500)} = \frac{U_s}{R_{ser} + R_{ill(500)}} \times R_{ill(500)} = \frac{12[V]}{(820 + 200)[\Omega]} = 2,4[V].$$

Kiểm tra lại điều kiện công suất: Đối với photoresistor:

$$P_{(30)} = U_{out(30)} \times \frac{U_s}{R_{ser} + R_{ill(30)}} = 9,4[V] \times \frac{12[V]}{(820 + 3 \cdot 10^3)[\Omega]} = 0,03[W] = 30[mW]$$

$$P_{(500)} = U_{out(500)} \times \frac{U_s}{R_{ser} + R_{ill(500)}} = 2,4[V] \times \frac{12[V]}{(820 + 200)[\Omega]} = 0,027[W] = 27[mW]$$

Đối với điện trở nối tiếp:

$$P_{(30)} = (U_s - U_{out(30)}) \times \frac{U_s}{R_{ser} + R_{ill(30)}} = 2,6[V] \times \frac{12[V]}{(820 + 3 \cdot 10^3)[\Omega]} = 0,0082[W] = 8,2[mW]$$

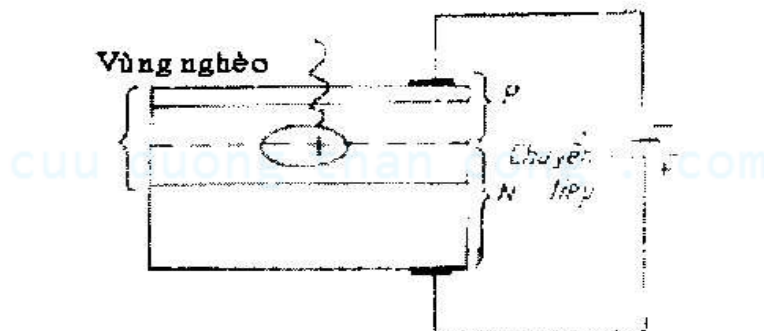
$$P_{(500)} = (U_s - U_{out(500)}) \times \frac{U_s}{R_{ser} + R_{ill(500)}} = 9,6[V] \times \frac{12[V]}{(820 + 200)[\Omega]} = 0,113[W] = 113[mW]$$

Diode quang *Photodiode* và tế bào quang-thế *Photovoltaic Cell*.

Các diode quang và tế bào quang-thế là những phần tử cảm quang có lớp tiếp giáp bán dẫn *p-n* mỏng, có vùng suy biến tiếp giáp (nghèo điện tích) đủ rộng để hấp thụ tối đa bức xạ ánh sáng có bước sóng λ nhỏ hơn bước sóng ngưỡng λ_s (hình 2.21). Khi đó, quang thông Φ thẩm thấu bề dày x của vật liệu sẽ là:

$$\Phi(x) = \Phi_0 e^{-\alpha x}; \quad (2.20)$$

ở đây, α - hệ số xuyên thấu; khi lượng quang thông đi qua vật liệu dày cỡ 10^3 [\AA] giảm xuống 63% thì $\alpha \approx 10^5$ [$1/\text{cm}$].

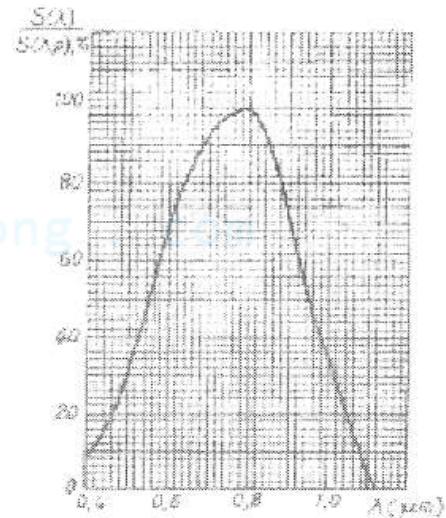
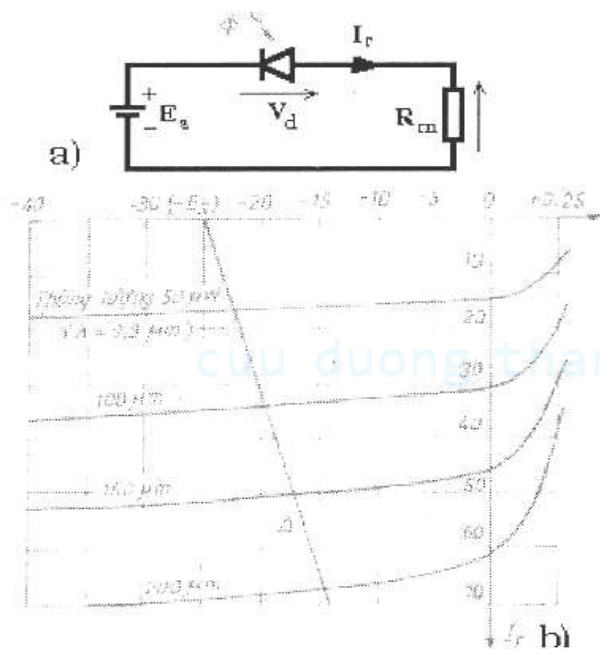


Hình 2.21 – Hiệu ứng quang-điện trong tiếp giáp bán dẫn *p-n*.

Vật liệu là các chất Si, Ge – làm việc trong vùng phổ nhìn thấy và hồng ngoại; GaAs, InAs, InSb, CdHgTe – làm việc trong vùng hồng ngoại. Chế độ làm việc có thể là:

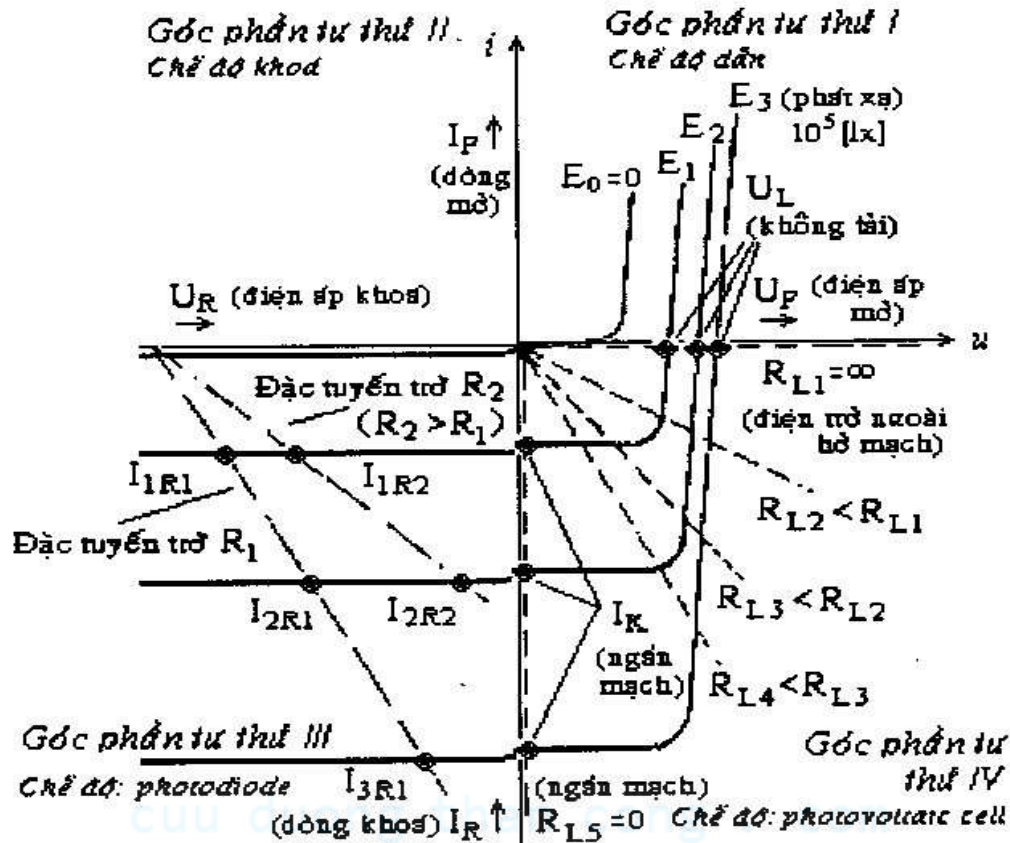
- Quang-dẫn photodiode (hình 2.22); hay
- Quang-thế photovoltaic (hình 2.23).

Cấu trúc cơ bản của photodiode và tế bào quang-voltaic là giống nhau vì chúng cùng có tiếp giáp bán dẫn $p-n$. Bất kỳ photodiode nào cũng có thể hoạt động như một tế bào quang-thế và ngược lại.



Hình 2.22 – Chế độ quang dẫn của photodiode; Hình 2.23 – Phổ độ nhạy của tế bào quang-thế Photovoltaic Cell.
a). Sơ đồ nguyên lý; b). Đặc tuyến VA.

Hình 2.24 vẽ đặc tuyến V-A của một tiếp giáp bán dẫn $p-n$ cảm quang. Góc phần tư thứ I là đặc tuyến của diode làm việc ở hướng dẫn dòng. Đường cong đặc tuyến của diode không được chiếu xạ sẽ bị dịch theo hướng dòng điện âm (trục tung) khi độ chiếu xạ E tăng lên. Tuy nhiên, góc phần tư thứ I không mấy ý nghĩa đối với những ứng dụng đòi hỏi phải có linh kiện được kích hoạt bởi ánh sáng.

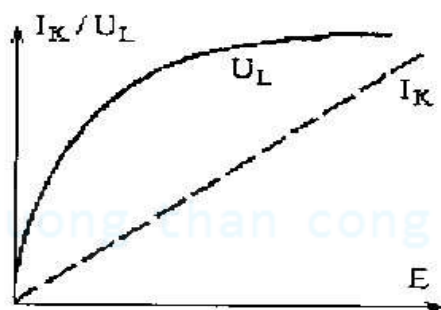


Hình 2.24 – Đặc tuyến V-A của photodiode.

Góc phần tư thứ III – chế độ photodiode; góc phần tư thứ IV – chế độ tế bào quang điện. Thông số: E – độ chiếu xạ ($E_0=0; E_1; E_2; E_3$). U_R – điện áp khoá. U_P – điện áp mở. I_R – dòng khoá. I_P – dòng mở. U_L – điện áp không tải. I_K – dòng ngắn mạch. R_L – điện trở mạch tải ($R_{L1}=\infty$ – không tải; $R_{L5}=0$ – ngắn mạch).

Các góc phần tư thứ III (làm việc như photodiode) và thứ IV (làm việc như tế bào quang-điện) mới là những phần đặc tuyến đáng chú ý trong trường hợp đó. Ở chế độ làm việc như tế bào quang-điện, các cặp điện tích *donor-recepter* sẽ được hình thành trong vùng điện- nạp *space-charge region* tạo ra bởi tiếp giáp *p-n* khi bị chiếu xạ do kết quả hiệu ứng quang điện nội. Trường điện tích này sẽ đẩy các hạt điện tích ra khỏi tiếp giáp *p-n* và gây ra dòng ngắn mạch ở phần mạch ngoài. Dòng ngắn mạch tỷ lệ tương quan với độ chiếu xạ E lên tới

hơn 10^5 [lux]. Nếu dòng điện mạch ngoài được cung cấp cho tải điện trở R_0 thì trên tiếp giáp bán dẫn $p-n$ sẽ có một điện áp quang-voltaic. Khi làm việc ở chế độ hở mạch *open-circuit*, các hạt mang điện được tạo nên bởi hấp thụ ánh sáng kích thích sẽ không thể thoát ra ngoài. Điều đó làm thay đổi các điều kiện điện- nạp và tạo ra một điện áp hở mạch (không tải) trên các đầu ra. Quá trình này tăng trưởng dạng logarithm theo độ chiếu xạ. Bởi vì vùng điện-nạp bị phân rã ở một trị số đặc trưng nào đó của độ chiếu xạ, điện áp hở mạch này sẽ tăng nhanh tới một trị cực đại nào đó, đạt tới một độ lớn bão hoà (không như việc tăng dòng ngắn mạch một cách tuyến tính theo độ chiếu xạ để đạt tới một độ chiếu xạ cực lớn – hình 2.25).



Hình 2.25 – Dòng ngắn mạch I_K

và điện áp không tải U_L là hàm của độ chiếu xạ E .

Ở chế độ làm việc như photodiode (góc phần tư thứ III), một điện áp ở hướng chặn sẽ được đặt trên tiếp giáp $p-n$. Để có được tín hiệu đủ lớn khi độ chiếu xạ nhỏ (và do đó mà dòng quang điện cũng nhỏ), đòi hỏi phải có điện trở tải R_0 cực đại và điện áp cực đại. Bởi điện dung của lớp suy biến *depletion layer* tăng lên theo chiều hướng tăng điện áp chặn, tần số cắt *cut-off* sẽ tăng lên theo điện áp chặn với điện trở tải có trị số đặc trưng nào đó. Tuy nhiên, bởi vì đồng thời tần số cắt cũng tỷ lệ nghịch với trị số điện trở tải, cho nên đôi khi cần phải thoả hiệp giữa biên độ tín hiệu mong muốn và tần số giới hạn.

Mặc dù bất kỳ photodiode nào cũng có thể làm việc như một tế bào quang-thế voltaic và ngược lại, cũng cần phân biệt rõ có thể “phát triển” dạng đặc tuyến nào, tùy theo từng ứng dụng cụ thể. Ví dụ: dù rằng lớp suy biến có diện tích rộng, có nghĩa là độ nhạy cảm quang lớn, nhưng đồng thời cũng có nghĩa là điện dung lớp tiếp giáp suy biến và dòng điện tối cũng lớn hơn.

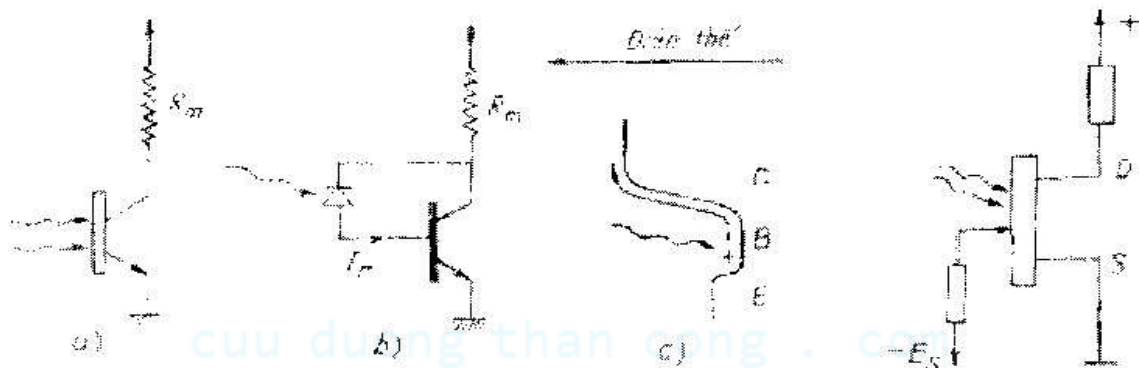
Ở các photodiode, lớp tiếp giáp suy biến được giữ ở mức nhỏ để có được dòng điện tối nhỏ nhất và điện áp chặn cao. Điều này hạn chế độ nhạy của photodiode. Ngược lại, trường hợp tế bào quang-điện làm việc ở chế độ quang-dẫn, thì độ nhạy phổ càng lớn càng tốt, dẫn tới mở rộng lớp suy biến. Ở chế độ tế bào quang-điện không có dòng điện tối. Do vậy điện áp chặn của tế bào quang-điện thấp hơn nhiều (khoảng 1 đến 20 [V]) so với trường hợp photodiode (10 đến 100 [V]), nhưng trong chế độ làm việc này thì điện áp chặn nhỏ cũng không mấy quan trọng. Sự phụ thuộc nhiệt độ của điện áp và dòng điện được kích bởi ánh sáng đóng vai trò quan trọng hơn nhiều trong các hệ kỹ thuật cảm biến đo lường.

Như vậy, điện áp hở mạch của các tế bào quang-điện điển hình giảm xuống theo nhiệt độ là khoảng $2,3 \text{ [mV/}^\circ\text{K]}$. Khi điện áp bão hòa khoảng 400 [mV] thì điện áp hở mạch giảm theo nhiệt độ xuống hơn $0,5\%/\text{}^\circ\text{K}$. Ngược lại, dòng ngắn mạch có hệ số nhiệt độ chỉ cỡ $0,1\%/\text{}^\circ\text{K}$.

Thời gian đáp ứng là một thông số đặc tính khác. Đối với các tế bào quang-điện làm việc ở chế độ dòng ngắn mạch, thời gian đáp ứng bị hạn chế bởi thời gian lan truyền các hạt điện tích và ở chế độ hở mạch thì bị hạn chế bởi điện dung lớp tiếp giáp suy biến và nội trở. Ở chế độ hở mạch, thời gian đáp ứng cũng phụ thuộc nhiều vào độ chiếu xạ. Trị số điển hình thời gian chuyển mạch có thể cỡ vài micro-giây đối với chế độ ngắn mạch và khoảng $50 \text{ [}\mu\text{s]}$ đến 10 [ms] đối với chế độ hở mạch, tùy theo độ chiếu xạ.

Transistor-quang *Phototransistor*.

Các phototransistor về nguyên lý là mạch ghép hai diodes, một là E-B- diode (*Emitter-Base-*) và một là C-B-diode (*Collector-Base-*), một diode làm việc theo hướng dẫn dòng còn diode kia làm việc ở hướng chặn. Collector-diode làm việc như một photodiode. Trên quan điểm hoạt động chức năng, phototransistor là một transistor quy ước có chứa một photodiode giữa mạch base và collector của nó. Trên hình 2.26 là sơ đồ nguyên lý của một phototransistor silic *n-p-n*, chiếu sáng basic.



Hình 2.26 – Phototransistor:

- a). Sơ đồ mạch; Hình 2.27 – Phototransistor trường
b). Sơ đồ tương đương; c). Tách cặp điện tử.

PhotoFET.

Khi chiếu sáng tiếp giáp BC thì phototransistor làm việc ở chế độ quang dẫn với dòng điện ngược I_r :

$$I_r = I_0 + I_\Phi; \quad (2.21)$$

ở đây: I_0 - dòng ngược ở chế độ tối, ở 25 [°C] có trị số cỡ [nA], nhưng khi nhiệt độ tăng thêm 10 [°C] thì giá trị đó tăng gấp đôi; I_Φ - dòng quang điện khi có quang thông chiếu qua bề dày X.

$$I_\Phi = S_G \Phi; \quad (2.22)$$

trong đó S_G - độ nhạy của tiếp giáp công-kênh.

Dòng I_r là dòng basic, gây nên dòng collector I_C :

$$I_C = (\beta + 1)I_r = (\beta + 1)I_0 + (\beta + 1)I_\Phi; \quad (2.23)$$

ở đây: β - hệ số khuếch đại dòng ở chế độ emitter chung.

Độ nhạy phổ:

$$S(\lambda_\Phi) = \Delta I_C / \Delta \Phi_0 = f(\Phi_0); \quad (2.24)$$

là hàm phụ thuộc Φ_0 . Ở bước sóng tương ứng điểm cực đại đường cong đặc tuyến phổ của phototransistor thì độ nhạy phổ có giá trị cỡ $(1 \div 100)$ [A/W].

Hình 2.27 là sơ đồ nguyên lý của phototransistor trường - *Photo-FET*. Hiệu ứng ánh sáng làm thay đổi trở kháng của kênh, độ rộng của kênh được đặt định bởi điện áp U_{GS} giữa cổng gate và nguồn source. Dòng máng của phototransistor sẽ bằng:

$$I_D = I_{DSS} \left(1 + \frac{U_{GS}}{U_\Phi} \right)^2; \quad (2.25)$$

ở đây: I_{DSS} - dòng máng khi $U_{GS} = 0$; U_Φ - điện áp chặn kênh.

Như vậy, một cách giản lược về nguyên lý, có thể coi phototransistor thực hiện chức năng như một photodiode có mắc kế tiếp transistor để khuếch đại dòng điện trạng thái khoá của photodiode được điều khiển bởi bức xạ ánh sáng (xem hình 2.26b). Thường thì phototransistor làm việc theo sơ đồ emitter chung mà cực base thường không dẫn.

Do tính năng khuếch đại của transistor, độ nhạy của các phototransistor lớn hơn độ nhạy của các photodiode từ 100 đến 500 lần. Tuy nhiên, đồng thời dòng điện tối của phần photodiode trong nó cũng được khuếch đại lên. Một nhược điểm nữa của phototransistor là thời gian chuyển mạch tăng lên khá nhiều so với thời gian đáp ứng của photodiode và tế bào quang-thế voltaic. Do nguyên nhân độ nhạy cao

nên điện dung lớp suy biến vốn có là tương đối cao, làm tăng hằng số thời gian của phototransistor theo độ khuếch đại dòng β .

Cuối cùng, có thể kết luận rằng nên sử dụng tế bào quang-thế voltaic ở chế độ ngắn mạch, trong những ứng dụng đòi hỏi độ ổn định nhiệt cao và tần số cắt lớn. Bởi tín hiệu thường được khuếch đại ở chế độ A, nên phải dành một khoản chi phí tương ứng cho bộ khuếch đại kèm theo mắc sau nó.

Với các photodiodes, và đặc biệt là với các phototransistors, độ nhạy cao thường đi kèm với cái giá phải trả là dòng điện tối lớn tới mức khó chấp nhận. Hơn nữa, ở các phototransistors, thời gian chuyển mạch tương đối cao còn có thể gây nhiễu cảm ứng.

Các dạng photodiodes đặc biệt là các photodiodes tiếp giáp cách ly *p-i-n*, photodiode hiệu ứng thác, photodiode hiệu ứng Schottky; phải lưu ý đến các đặc tuyến của chúng. Cần lưu ý các đặc điểm hoạt động sau:

Photodiode *p-i-n* PIN là loại phần tử cảm quang gồm ba lớp bán dẫn *p*, *i*, và *n*; trong đó hai lớp *p* và *n* là những lớp bán dẫn pha tạp chất, còn lớp *i* (*Intrinsic* – thuần chất) là lớp bán dẫn thuần chất hay là có tỷ lệ pha tạp rất nhỏ. Photodiode *p-i-n* có thời gian chuyển mạch cỡ từ pico-giây tới nano-giây. Chúng còn có dòng điện tối rất nhỏ (biên độ cỡ 1[A]). Do đó chúng phù hợp với các bộ thu nhận xung ánh sáng nano-giây (tia laser) và dùng truyền dẫn các tín hiệu ánh sáng điều biến tần số cao (tới 50 [MHz]).

Ở các photodiodes hiệu ứng thác APD (*Avalanche PhotoDiode*), tác động ánh sáng làm tăng hiệu ứng điều khiển đánh thủng kiểu thác. Tần số cắt của diode hiệu ứng thác cỡ gigaHerz (độ rộng băng tần khuếch đại có thể đạt tới 80 [GHz]). Nhờ tính năng điều chỉnh tinh điện áp làm việc và các đặc tính khác (như dòng điện tối), photodiodes hiệu ứng thác thường rất đáng giá trong những ứng dụng chuyển mạch.

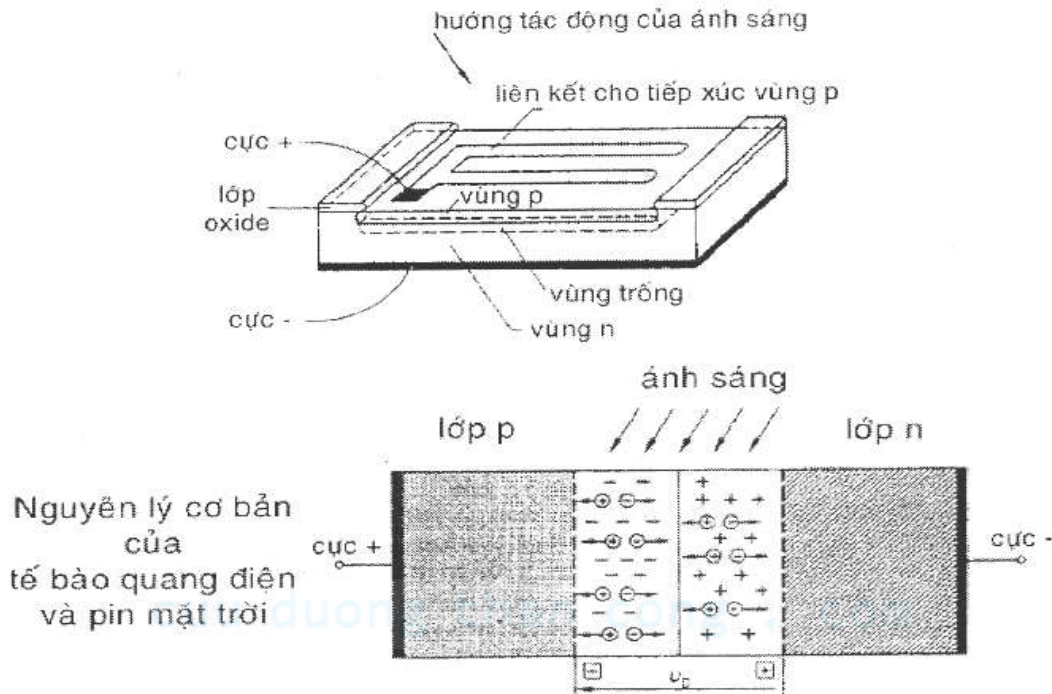
Các photodiodes Schottky được ứng dụng rộng rãi hơn bởi chúng có thể chế tạo loạt như các diodes thường và bởi công nghệ ấy cho phép chế xuất được những diodes bản rộng. Chúng có thể được chế xuất những phần tử cảm quang để đo những sai phân đường biên của tia sáng so với trục quang có độ dài bước sóng tới 20 [cm]. Phần tử cảm quang có bề mặt tròn hay vuông, diện tích tới 10 [cm^2], được chia thành 4 góc phần tư để phân biệt những sai lệch từ hai trục quang. Mỗi góc phần tư có một đầu ra, và một điện cực chung ở tấm mặt sau. Nếu tia sáng tới đập đúng vào tâm phần tử cảm quang như vậy, sẽ không có tín hiệu ra. Nhưng chỉ cần tia sáng sai lệch khỏi tâm phần tử cảm quang thì sẽ tạo ra hai tín hiệu tỷ lệ với độ lệch tâm này (theo hướng x và y). Các diodes loại này được dùng trong các hệ vẽ đồ bản tự động, trong các hệ đo lường và điều khiển vị trí và dịch chuyển.

2.2.3 – Cảm biến phát xạ: Tế bào quang-điện.

Các cảm biến phát xạ hoạt động theo nguyên lý như nguyên lý hoạt động của pin mặt trời, khi được chiếu sáng các tế bào quang-điện sẽ tạo ra một dòng điện có độ lớn tùy thuộc vào ánh sáng chiếu xạ. Vì vậy chúng cũng được xem như linh kiện quang-điện tích cực.

Trong tế bào quang-điện (và pin mặt trời), vật liệu bán dẫn bao gồm một vùng dẫn loại n và một vùng dẫn loại p . Giống hệt như diode bán dẫn, một điện áp khuếch tán được tạo ra ở vùng tiếp giáp bán dẫn, đó là kết quả của quá trình khuếch tán. Điện áp chặn này ngăn cản sự di chuyển sâu của điện tử vào vùng p và của lỗ trống vào vùng n . Tại vùng trống rất mỏng này – vùng tiếp giáp suy biến, nghèo điện tích, hầu như không có sự di chuyển của các hạt mang điện. Nếu năng lượng bức xạ (dưới dạng ánh sáng chiếu xạ) đập vào vùng trống này thì các chuỗi tinh thể sẽ bị phá vỡ, tạo ra hiện tượng cung cấp năng lượng, đồng thời sinh ra các cặp hạt mang điện tự do. Dưới tác dụng của điện trường gây ra bởi điện áp khuếch tán trên vùng trống, các điện tử tự do di chuyển vào vùng n và các lỗ trống tự do sẽ di chuyển vào vùng p . Vì thế một lượng điện tích dư sẽ xuất hiện trong vùng n và

vùng p , bằng cách đó lớp n trở thành cực âm và lớp p trở thành cực dương của một nguồn điện – nguồn quang-điện. Quá trình này được thể hiện ở hình 2.28.



Hình 2.28 – Nguyên lý cơ bản của tế bào quang-điện.

Nếu tế bào quang-điện được nối với tải thì sẽ có một dòng điện chạy qua điện trở tải, dòng này được điều khiển bởi điện áp sinh ra do chiếu xạ ánh sáng. Ứng dụng đơn giản nhất của tế bào quang-điện điển hình là một dụng cụ đo độ sáng – điện-quang kế, trong đó có một cuộn dây động rất nhạy được dùng làm điện trở tải. Độ lệch của cuộn dây động là trị số đo của ánh sáng.

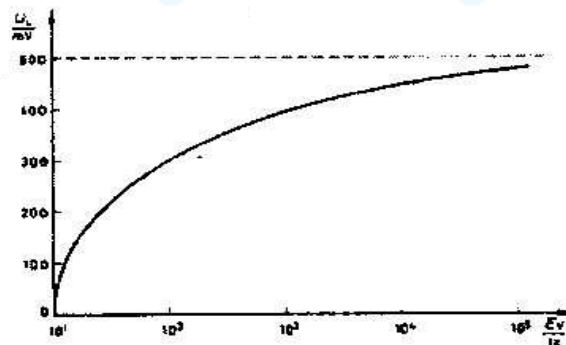
Hình 2.29 – Cấu trúc cơ bản của tế bào quang-điện silicon.

Hình 2.29 trình bày cấu trúc cơ bản của một tế bào quang-điện silicon chế xuất theo công nghệ planar. Với cấu trúc hình 2.29, tiếp giáp $p-n$ nằm ngay dưới bề mặt để ánh sáng chiếu tới có hiệu quả càng

manh càng tốt. Pin mặt trời cũng có cấu tạo tương tự, tuy nhiên nó được thiết kế với diện tích lớn hơn tế bào quang-điện.

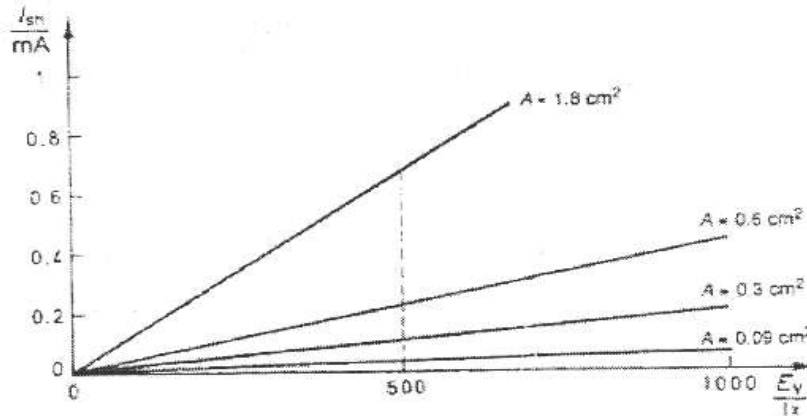
Hình 2.30 vẽ đặc tuyến điện áp không tải (hở mạch) của tế bào quang-điện U_{oc} phụ thuộc vào cường độ chiếu sáng E_v . Nếu với một tế bào quang-điện, cường độ sáng tăng từ $E_v = 0$ [lx] ban đầu thì điện áp hở mạch cũng tăng theo tương đối nhanh tới điểm có cường độ sáng $E_v = 100$ [lx]. Nếu cường độ sáng tiếp tục tăng cao hơn, thì U_{oc} tăng trưởng chậm lại và có xu hướng tiến tới giá trị bão hoà $U_{oc} \approx 500$ [mV] ở cường độ chiếu xạ ánh sáng cực đại. Vì vậy $U_{oc\max}$ luôn thấp hơn điện áp khuếch tán của tiếp giáp $p-n$.

Đặc tuyến điện áp hở mạch trên thang đo logarithm hình 2.30 tương tự cho mọi tế bào quang-điện. Ngoài ra, điện áp mạch hở chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ và thuộc tính của vật liệu. Kích thước vùng nhạy sáng của tế bào quang điện không ảnh hưởng tới độ lớn điện áp mạch hở sinh ra.



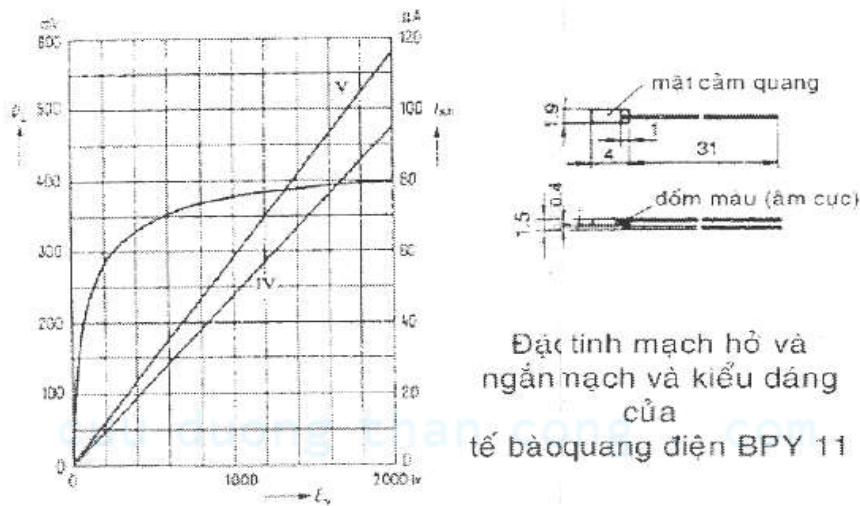
Hình 2.30 – Điện áp hở mạch của tế bào quang-điện như một hàm của E_v .

Đặc tính dòng ngắn mạch của các tế bào quang-điện cũng quan trọng trong các ứng dụng thực tế. Nó chỉ ra sự phụ thuộc của dòng ngắn mạch I_{sh} vào cường độ chiếu sáng E_v và được trình bày ở hình 2.31.



Hình 2.31 – Dòng ngắn mạch của tế bào quang-điện như là hàm của E_v .

Có quan hệ gần như tuyến tính giữa dòng ngắn mạch I_{sh} và cường độ sáng E_v ở các tế bào quang-điện. Vì vậy I_{sh} tăng gần như tuyến tính với E_v . Ngoài ra, còn có quan hệ tuyến tính khác giữa trị tuyệt đối của I_{sh} và kích thước vùng nhạy sáng A của tế bào quang-điện, như các đặc tuyến ứng với các vùng nhạy sáng $A = 0,09; 0,3; 0,6; 1,8 [cm^2]$ trên hình 2.31.



Đặc tính mạch hở và ngắn mạch và kiểu dáng của tế bào quang điện BPY 11

Hình 2.32 - Đặc tuyến hở mạch và ngắn mạch của tế bào quang-điện BPY.

Độ nhạy sáng S (dòng đáp ứng) có thể được tính từ độ dốc của đặc tuyến dòng ngắn mạch, tính theo đơn vị [nA/lx]:

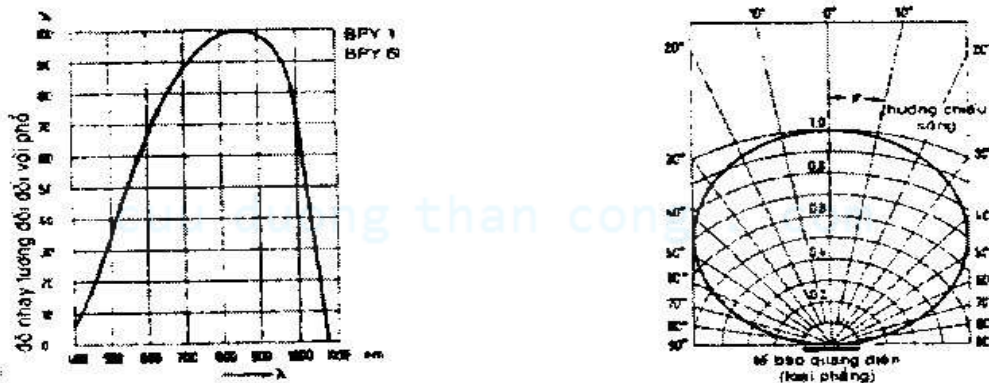
$$S = \frac{\Delta I_{sh}}{\Delta E_v}; \quad \text{nA/lx}. \quad (2.26)$$

Diện tích vùng nhạy sáng càng lớn thì dòng ngắn mạch I_{sh} và độ nhạy sáng S càng cao. Điển hình là các loại tế bào quang-điện BPY 11 và BPY 64.

Điện áp hở mạch và dòng ngắn mạch của tế bào quang-điện (hình 2.32) cho thấy sự phụ thuộc vào nhiệt độ – hệ số nhiệt độ TC *Temperature Constant*. Ví dụ $TC_{U_c} \approx -2,6[mV/^{\circ}K]$ và $TC_{I_{sh}} \approx +12[%/^{\circ}K]$ ứng với kiểu BPY 11 và BPY 64.

Độ nhạy phổ và đặc tính định hướng cũng rất quan trọng trong các ứng dụng thực tế của tế bào quang-điện. Hình 2.33a là độ nhạy phổ tương đối của tế bào quang-điện kiểu BPY 11 và BPY 64. Ở đây, như với hầu hết các tế bào quang-điện khác, giá trị cực đại là $\lambda \approx 850 [nm]$, nghĩa là nằm trong dải hồng ngoại.

Mối quan hệ giữa hướng bức xạ φ và dòng ngắn mạch I_{sh} có thể xác định từ đặc tuyến định hướng ở hình 2.33b. Với cùng một độ chiếu sáng, tia sáng chạm vào tế bào quang-điện với góc càng phẳng thì dòng ngắn mạch càng nhỏ.



Hình 2.33 – Độ nhạy phổ tương đối và đặc tuyến chỉ thị $I_{sh}=f(\varphi)$ của BPY11 và BPY64.

Tế bào quang-điện chuyển đổi năng lượng bức xạ ánh sáng thành năng lượng điện. Nếu sử dụng sự chuyển đổi này trong thực tế, ta phải mắc điện trở tải R_L vào tế bào quang-điện. Năng lượng lớn nhất có thể lấy từ nguồn áp quang-thế là nếu $R_L = R_i$, nghĩa là tương thích điện trở tải với nội trở nguồn. Điện trở trong R_i của tế bào quang-điện có thể xác định từ đặc tuyến hở mạch và dòng ngắn mạch theo công thức:

$$R_i = \frac{U_l}{I_{sh}} \text{ với } E_v = \text{const.} \quad (2.27)$$

Như có thể thấy từ hai đặc tuyến của tế bào quang-điện BPY 64, điện trở trong không phải là hằng số mà là một hàm của độ sáng E_v . Vì vậy với kiểu tế bào quang-điện BPY 64 thì: $R_i \approx 13 [k\Omega]$ ở $E_v = 100 [lx]$, $R_i \approx 3,3 [k\Omega]$ ở $500 [lx]$ và $R_i \approx 1,8 [k\Omega]$ ở $1000 [lx]$. Vì vậy, điện trở trong của tế bào quang-điện giảm khi độ sáng tăng.

Bởi các tế bào quang-điện được ứng dụng chủ yếu để đo độ sáng, sẽ là rất tiện lợi nếu có được quan hệ thật tuyến tính giữa lượng ánh sáng kích thích và lượng điện sinh ra. Điều này có thể đạt được nếu tế bào quang-điện hoạt động với chế độ dòng tương thích với điện trở tải, nghĩa là nếu $R_L \ll R_i$, khi đó thực tế sẽ xảy ra hiện tượng gần như ngắn mạch. Như vậy, sẽ đạt được quan hệ tuyến tính muốn có giữa dòng quang-điện và độ sáng, kể cả với độ sáng lớn.

Cuối cùng, kết thúc giới thiệu các phần tử cảm biến quang, chúng ta so sánh chung thông số của chúng (bảng 2.2).

Bảng 2.2 – So sánh các cảm biến quang-điện.

<i>Cảm biến</i>	<i>Độ nhạy</i>	<i>Dải phổ</i>
1. Tế bào quang dẫn.	0,1 – 10 A/W	0,3 – 30 μm
2. Photodiode.	0,1 – 1 A/W	0,4 – 1,2 μm
3. Phototransistor.	1 – 100 A/W	0,4 – 1,2 μm
4. Tế bào quang điện	10 – 100 mA/W	

chân không.		
-------------	--	--

2.3 – Ứng dụng các phần tử cảm biến quang, đo các đại lượng ánh sáng.

2.3.1 – Khái quát. Có hai phương pháp chủ yếu đo ánh sáng:

- Trực quan (đo bằng mắt, trên cơ sở thị giác);
- Khách quan (đo lường trên cơ sở cảm biến vật lý).

Đo các đại lượng quang dựa trên cơ sở thị giác người (bằng mắt), có đặc điểm là mắt người chỉ phản ứng rõ rệt với độ chói. Cho nên các phương pháp trực quan có nguyên lý chung là so sánh độ chói của hai trường (hai bề mặt) để cạnh nhau. Vì vậy, trong cấu trúc các dụng cụ đo độ sáng bằng phương pháp trực quan cũng có nguyên lý chung: thiết bị tạo trường so sánh và thiết bị thay đổi độ chói của các trường đó, cân bằng ánh sáng của trường đo với trường so, dùng định luật bình phương khoảng cách để xác định các đại lượng ánh sáng khác, như độ rọi, cường độ sáng ...

Ví dụ: đo độ rọi bằng hộp trắc quang *Lummer – Brodhunt*:

$$E = \frac{I}{l^2} \cos \varphi; \quad (2.28)$$

trong đó: I – cường độ sáng của nguồn; l – khoảng cách từ nguồn sáng tới kính thử; φ - góc tới của tia sáng.

Trong phương pháp đo quang thông bằng cầu quang kế, quang thông được xác định:

$$\frac{\Phi_x}{\Phi_0} = \frac{l_0^2}{l_x^2}; \quad (2.29)$$

trong đó: l_x - khoảng cách từ đèn so tới kính thử, khi đặt đèn đo trong cầu kế; l_0 - khoảng cách tương ứng, khi đặt đèn mẫu trong cầu kế.

2.3.2 – Các thiết bị thông dụng đo ánh sáng theo phương pháp trực quan.

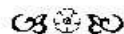
Ở đây chúng ta không đi sâu vào lĩnh vực các thiết bị quang học, nhưng có thể điểm qua các thiết bị trắc quang thông dụng nhất:

- Thiết bị tạo trường so sánh bằng hộp trắc quang Lummer–Brodhunt;
- Cầu quang kế, có đầu trắc quang di động, hay có tế bào quang điện và điện thế kế galvanometer – đo quang thông, cường độ sáng;
- Quang kế với hệ quang trực tâm để đo cường độ ánh sáng của các nguồn bức xạ, kể cả nguồn bức xạ làm việc ở chế độ xung (kiểu FPI, SMI, FIM, FIS);
- Luxmeter quang điện đo độ rọi;
- Chối kế kiểu FPI, FIM, ...
- Các máy so màu sắc kế *colorimeters* (quang điện EKS-1, KNO-3, ...).

2.3.3 – Phương pháp đo các đại lượng quang theo kỹ thuật đo điện.

Trong phần trên, ta đã đề cập đến các cảm biến ánh sáng như những phần tử chức năng của hệ cảm biến đo lường và điều khiển, được đặc trưng bởi mạng hai cửa nói chung (xem hình 1.3).

Ở đây, các phần tử cảm biến ánh sáng cảm nhận kích thích đầu vào là các đại lượng ánh sáng và biến đổi thành tín hiệu điện ở đầu ra. Việc đo lường các đại lượng điện được thực hiện bởi những phương tiện và kỹ thuật đo lường điện, tùy theo nhiệm vụ và yêu cầu ứng dụng cụ thể. Do đó trong khuôn khổ tài liệu này không thể bao gộp. Tuy nhiên, có thể tìm hiểu kỹ và cụ thể hơn trong những tài liệu tham khảo nêu ở mục tương ứng.



BÀI 3

KỸ THUẬT CẢM BIẾN NHIỆT ĐỘ CÔNG NGHIỆP.

Chương 3. CẢM BIẾN ĐO NHIỆT ĐỘ. PHẦN 1.

Mục tiêu bài này tập trung vào những khái niệm cơ bản và kỹ thuật cảm biến nhiệt độ trong các ứng dụng đo lường và điều khiển – gồm 2 phần của chương 3 (cảm biến nhiệt độ cao và nhiệt độ thấp).

Nội dung cơ bản mà SV phải nắm được ở bài này là những vấn đề trọng tâm sau:

- Khái niệm cơ bản về nhiệt độ và thang đo nhiệt độ; các đặc trưng phần tử cảm biến nhiệt. Các loại phần tử cảm biến nhiệt ứng dụng trong kỹ thuật công nghệ, dùng cho các hệ đo lường điều khiển: kết cấu, hoạt động chức năng, các đặc tính kỹ thuật, đặc điểm ứng dụng.
- Các vấn đề ứng dụng thực tiễn các phần tử cảm biến và điều chỉnh nhiệt độ trong hệ thống tin đo lường điều khiển; có nhận thức và kỹ năng tổng hợp, thiết kế và chế tạo hệ thống cụ thể trong thực tế môi trường ứng dụng.
- Bài 3 tập trung trọng tâm là kỹ thuật cảm biến nhiệt độ cao bằng các phần tử cảm biến kim loại (chủ yếu các nhiệt điện trở và nhiệt ngẫu), ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp luyện kim và xử lý vật liệu kim loại.

Thời lượng bài giảng là 04 tiết/45 tiết lên lớp theo chương trình môn học là 03TC (45 tiết) và 04 tiết tự nghiên cứu.

3.1 – Khái niệm chung.

Nhiệt độ – Nhiệt độ là số đo cường độ chuyển động hỗn độn của các phần tử cấu tạo nên vật thể. Nhiệt độ là một đại lượng vật lý thể khối *extensive* (phổ quát) như ánh sáng, nhưng có đặc trưng quán

tính, do vậy chỉ có thể xác định gián tiếp thông qua tính chất trạng thái đã biết trước của vật chất có liên quan tới nhiệt độ. Vì nhiệt luôn luôn tự động truyền từ vật nóng sang vật lạnh cho nên có thể coi nhiệt độ của một vật là tính chất xác định hướng truyền nhiệt giữa vật đó với các vật khác tiếp xúc với nó.

Thang nhiệt độ là hệ thống định cỡ và tính nhiệt độ theo một quy tắc nào đó. Trong kỹ thuật, để có thể xác định giá trị nhiệt độ một vật người ta dựa vào các quá trình có thể tái tạo lại được làm cơ sở lập thang đo nhiệt độ. Ví như điểm đông và điểm sôi của nước được dùng làm những điểm dẫn xuất xác định thang nhiệt độ Celsius [$^{\circ}C$], chọn 0 [$^{\circ}C$] là nhiệt độ của đá đang tan và 100 [$^{\circ}C$] là nhiệt độ của nước nguyên chất đang sôi dưới áp suất 1 [atm]. Như vậy, cỡ nhiệt độ là 1/100 khoảng chênh lệch nhiệt độ giữa nước đá đang tan và nước đang sôi.

Thang nhiệt độ – theo định luật nhiệt động học:

- Thang nhiệt độ Hook (Hook Robert, 1664) – coi điểm 0 là điểm đông của nước cất;
- Thang nhiệt độ Fahrenheit (D.G. Fahrenheit, người Hà lan, 1706) – thang F: nước đá tan ở $32^{\circ}F$, sôi ở $212^{\circ}F$.

$$T^{\circ}C = (T^{\circ}F - 32) \frac{5}{9}; \quad (3.1)$$

$$T^{\circ}F = \frac{9}{5}T^{\circ}C + 32; \quad (3.2)$$

- Thang nhiệt độ Celsius (Celsius Andreas, người Thụy điển, 1742) – thang bách phân:

$$T^{\circ}C = T^{\circ}K - 273,15; \quad (3.3)$$

$$1^{\circ}C = 1^{\circ}K; \quad (3.4)$$

- Thang nhiệt độ Kelvin (tức hiệu của William Thomson, người Anh, 1852) – thang nhiệt-động tuyệt đối: $0^{\circ}C = 273,15^{\circ}K$ - nhiệt độ cân bằng ba trạng thái của nước.

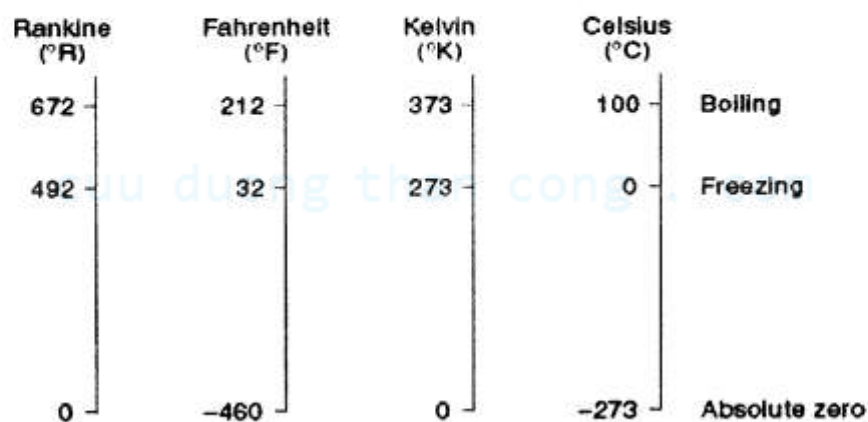
$$0^{\circ}K = -273,15^{\circ}C - \text{nhiệt độ không tuyệt đối.} \quad (3.5)$$

- Thang nhiệt độ Rankine – thang nhiệt độ tuyệt đối, trong đó hiệu nhiệt độ giữa điểm sôi và điểm đông đặc của nước là $212^{\circ} R$, và nhiệt độ 0 là độ không tuyệt đối. Điểm đông đặc của nước dưới áp suất tiêu chuẩn là $491,7^{\circ} R$. Một độ Rankine ($^{\circ} R$) bằng một độ Fahrenheit ($^{\circ} F$).

Nhiệt độ tác động tới vật chất và các quá trình vật lý ở mức phân tử, là biến trạng thái vật lý được cảm biến rộng rãi nhất trong số các biến hệ thống. Nhiệt độ được định nghĩa như là đặc trưng mức độ nóng lạnh được tham chiếu theo một thang đo đặc trưng. Nó cũng có thể được đặc trưng như lượng nhiệt năng trong một đối tượng hoặc một hệ vật lý. Năng lượng nhiệt tương quan trực tiếp với năng lượng phân tử (sự rung động, ma sát và dao động của các hạt bên trong phân tử). Năng lượng nhiệt càng cao, thì năng lượng phân tử càng lớn.

Bảng 3.1 – Thang đo nhiệt độ và tương quan.

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



Nhiệt độ của vật chất là thông số đặc trưng trạng thái cân bằng nhiệt-động-học của thể tích nhất định. Quá trình cân bằng là một quá trình quán tính.

$$\Delta T = T_k - T_d ; \quad (3.6)$$

trong đó: T_k – nhiệt độ (thực) của môi trường cần đo; T_d - nhiệt độ (đo) trên phần tử cảm biến nhiệt.

Nhiệt lượng truyền thụ tới cảm biến trong một đơn vị thời gian dt :

$$dQ = \alpha A \Delta T dt ; \quad (3.7)$$

ở đây: α – nhiệt dẫn xuất của vật liệu cảm biến; A – tiết diện trao đổi nhiệt.

Dựa trên vật lý thống kê người ta định nghĩa nhiệt độ của một vật thể là số đo động năng tịnh tiến trung bình của các phân tử cấu tạo nên vật. Kích thước và nhiều tính chất khác của vật như các tính chất cơ học, điện học, quang học ... của vật liệu và vật thể phụ thuộc vào nhiệt độ. Chính từ sự phụ thuộc đó mà người ta đã chế tạo ra những phần tử cảm biến và đo lường nhiệt độ. Do bản chất vật lý thể khối phổ quát của nhiệt độ, chỉ có thể xác định nhiệt độ vật chất thông qua tính chất trạng thái biết trước của vật chất phụ thuộc vào nhiệt độ. Ví như tính dẫn nở trong nhiệt kế lưỡng kim, tính phụ thuộc nhiệt độ của điện trở trong nhiệt-điện-trở kim loại, hay tia bức xạ nhiệt trong hoá-kế bức xạ.

Trong nhiều khả năng khác nhau, nhiệt độ được biến đổi bởi các phần tử cảm biến thành đại lượng điện như điện áp, dòng điện hay điện trở, điện dẫn; trong đó các phần tử điện trở kim loại hay bán dẫn, các phần tử nhiệt-ngẫu, ... đóng vai trò quan trọng trong kỹ thuật đo lường và điều khiển.

Phân loại cảm biến nhiệt. Các cảm biến nhiệt độ phát hiện sự thay đổi trong một thông số vật lý (như điện trở hay điện dẫn, điện áp

hay dòng điện) tương ứng với sự thay đổi của nhiệt độ. Có hai phương pháp cơ bản cảm biến nhiệt độ.

- Phương pháp tiếp xúc nhiệt; đòi hỏi cảm biến phải tiếp xúc vật lý trực tiếp với môi trường hay đối tượng đo, có thể dùng kiểm tra nhiệt độ của chất rắn, chất lỏng hay chất khí trong một phạm vi nhiệt độ rất rộng.
- Phương pháp đo không tiếp xúc; cảm nhận năng lượng bức xạ của nguồn nhiệt ở dạng năng lượng thu nhận được trong phần hồng ngoại của phổ điện-từ. Phương pháp này có thể dùng để kiểm tra các chất rắn và các chất lỏng, nhưng không có tác dụng với các chất khí bởi bản chất trong suốt tự nhiên của chúng.

Phân loại các phần tử cảm biến nhiệt:

- Cảm biến tiếp xúc:
 - Nhiệt kế dẫn nở (lưỡng kim);
 - Nhiệt kế áp suất (chất lỏng, chất khí);
 - Nhiệt ngẫu;
 - Nhiệt điện trở:
 - Điện trở nhiệt kim loại;
 - Nhiệt điện trở bán dẫn (silicon, diode, transistor)
- Cảm biến bức xạ (không tiếp xúc):
 - Cảm biến quang (hoả quang kế, hoả kế quang điện);
 - Cảm biến siêu âm;
 - Quang phổ.

Trong kỹ thuật đo lường và điều khiển nhiệt độ chủ yếu ứng dụng các phần tử cảm biến tiếp xúc nhiệt, như:

- Phần tử cảm biến kim loại:
 - Nhiệt kế dẫn nở (lưỡng kim hay chất lỏng, chất khí);

- Nhiệt điện trở kim loại;
- Nhiệt ngẫu.
- Phần tử cảm biến bán dẫn:

Nhiệt trở bán dẫn (thermo-diode, thermo-transistor); vi mạch cảm biến nhiệt IC.

Kỹ thuật ứng dụng. Hình 3.1 giới thiệu một máy đo nhiệt độ và các đầu đo – phần tử cảm biến nhiệt độ, dùng cho nhiều ứng dụng khác nhau.

Lựa chọn cảm biến đo nhiệt độ. Trước khi đi vào chi tiết các loại phần tử cảm biến nhiệt, thiết nghĩ cần có những nhận thức đúng đắn từ quan điểm ứng dụng cụ thể. Ở đây ta lưu ý những vấn đề chung nhất trong kỹ thuật ứng dụng.

Nhận thức chung. Lựa chọn thế nào một cảm biến nhiệt độ tốt nhất? Nói chung, tất cả các kiểu cảm biến là những tùy chọn đo lường nhiệt độ có ích, nhưng mỗi cái đều có những ưu nhược điểm của nó. Ví dụ:


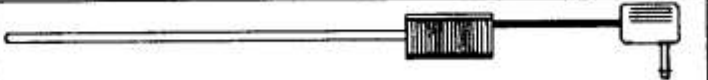


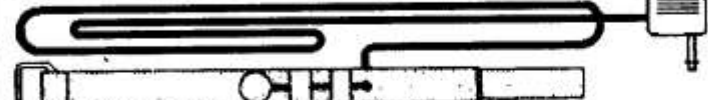

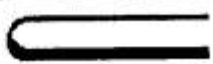
- Các thermistors có độ phân giải cao, có phạm vi ứng dụng rộng rãi nhất, có độ nhạy cao nhất và giá thành thấp, nhưng không tuyến tính và có phạm vi nhiệt độ đo giới hạn.
- Cặp nhiệt ngẫu thermocouple có phạm vi nhiệt độ đo cao và bền chắc đối với những ứng dụng có độ rung động và shock va đập cao, nhưng đòi hỏi phải có đường dây nối chuyên dụng.
- Các điện trở nhiệt RTDs gần tuyến tính, có độ nhạy cao và ổn định, nhưng chúng có kích thước lớn và đắt tiền.
- Các kiểu silicon có giá thành thấp và gần tuyến tính, nhưng bị hạn chế phạm vi nhiệt độ đo.

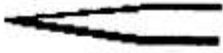
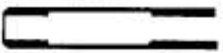
Một nhận thức quan trọng trong việc lựa chọn các cảm biến nhiệt là vật liệu được sử dụng, những vật liệu này có giới hạn nhiệt độ. Dung sai, độ chính xác, và tính thay thế lắp lẫn cũng là những tính năng quan trọng. Dung sai là yêu cầu đặc trưng, thường là bằng cộng

hay trừ (\pm) nhiệt độ tỷ đối. Độ chính xác là khả năng của cảm biến đo giá trị thực của nhiệt độ trong suốt phạm vi nhiệt độ đo.

Bất kể lựa chọn công nghệ cảm biến nào đi nữa, người sử dụng vẫn phải quan tâm hàng đầu đến độ an toàn tin cậy. Đừng bao giờ chọn một dụng cụ đơn thuần chỉ vì nó có giá rẻ. Hãy chọn dụng cụ cung cấp năng lực thực hiện tốt nhất so với giá thành của nó và luôn luôn tôn trọng triệt để những nguyên tắc chỉ đạo và những khuyến cáo của nhà sản xuất.

Mỗi ứng dụng cảm biến nhiệt độ có thể hiện diện một tổng thể những yêu cầu và những vấn đề của nó, cần phải đánh giá trên một cơ sở nhận thức cụ thể. Dưới đây là một số câu hỏi cần nhận thức:

		Loại đầu cắm, dây dẫn ngắn.
		Loại dây mềm xoắn (kéo dài 1,5 [m])
		Loại có tay cầm, dây dẫn teflon dài 1,5 [m].
		Đầu cắm, dây nhựa PVC cuốn (dài 4 [m]).
Dạng đầu đo		Kiểu
		Đầu đo nhiệt độ bề mặt.
		Đầu đo kiểu nhúng.

	Đầu đo kiểu cắm.	
	Đầu đo nhiệt độ luồng khí.	
t_{99} – Khoảng thời gian tới khi chỉ thị đạt 99% giá trị đo.		

Hình 3.1 – Máy đo nhiệt độ và phần tử cảm biến nhiệt (hãng Testotherm).

Ứng dụng đã cho đòi hỏi cảm biến dạng tiếp xúc hay không tiếp xúc?

Nếu là ứng dụng có tính động *moving* hoặc nếu tiếp xúc vật lý là không thực tế bởi những tính chất vật liệu (dễ bám bẩn hay môi trường nguy hiểm), thì công nghệ cảm biến hồng ngoại (đo không tiếp xúc) là lựa chọn thích hợp.

Quá trình điều khiển hay kiểm tra đòi hỏi phải cảm biến trong phạm vi nhiệt độ như thế nào?

Phải nắm được phạm vi nhiệt độ làm việc nói chung của các kiểu loại cảm biến nhiệt để có được một sự lựa chọn phù hợp cho ứng dụng cụ thể đặt ra. Các cặp nhiệt ngẫu có phạm vi nhiệt độ đo rộng nhất, từ $-200^{\circ}C$ tới $+2315^{\circ}C$. Các thermistors thì tùy theo mẫu thiết kế và vật liệu, có phạm vi sử dụng từ -100 tới $+500^{\circ}C$. Các nhiệt kế lưỡng kim có thể chịu được nhiệt độ từ -85 tới $+371^{\circ}C$.

Đối với các nhiệt độ đông lạnh *cryogenic*, các điện trở nhiệt RTDs và một số dụng cụ cảm biến bán dẫn silicon có khả năng tiếp cận nhiệt độ không tuyệt đối ($0[K]$). Phạm vi nhiệt độ đo tối đa là từ $150^{\circ}C$ tới $200^{\circ}C$.

Đối với các dụng cụ đo không tiếp xúc (cảm biến hồng ngoại) thì những nhiệt độ dưới $-18^{\circ}C$ hay lớn hơn $538^{\circ}C$ đòi hỏi phải có đơn đặt hàng riêng *custom unit*. Các mạch điện tử hỗ trợ phải được cách ly nhiệt với cảm biến để không ảnh hưởng đến các tính năng mạch.

Với tất cả các dụng cụ này, có khả năng vượt ngưỡng đo bằng cách sử dụng các nguồn điều nhiệt *thermowells* hoặc bằng cách đặt

dụng cụ vào một vị trí tương đối so với nguồn nhiệt. Tuy nhiên, cách tiếp cận này có thể ảnh hưởng tới độ chính xác và đáp ứng của hệ.

Tốc độ thay đổi nhiệt độ (biến thiên nhiệt theo thời gian) như thế nào?

Đối với những ứng dụng mà tốc độ thay đổi nhiệt độ nhanh ($>1,0[^\circ C/min]$), vỏ bọc cảm biến có thể trở thành một nguồn nhiệt. Độ quán tính nhiệt của cảm biến tùy theo vỏ bọc của nó. Đối với những thay đổi nhiệt độ cực nhanh, nên giữ sao cho vỏ cảm biến là tối thiểu để cho phép nó đổi theo một cách chính xác sự biến thiên nhiệt độ này. Điều này liên quan tới cả khối vỏ bọc và nhiệt dẫn của nguồn điều nhiệt hoặc các vật liệu bảo vệ khác.

Đối với những ứng dụng mà cảm biến được lắp đặt xa các bộ phận xử lý điều khiển và đo lường, thì nên sử dụng việc thử nghiệm mẫu thiết kế biến thể. Để giải quyết việc này, người ta sử dụng hai hoặc nhiều cảm biến để kiểm tra nhiệt độ trong ứng dụng, trong khi một cảm biến khác kiểm tra nhiệt độ tại vị trí dự định lắp cảm biến. Bằng cách đó vị trí cảm biến sẽ được tối ưu hoá.

Cần phải điều khiển hoặc kiểm tra nhiệt độ chính xác tới mức nào?

Đối với những ứng dụng hoặc quá trình y học thực hiện các phản ứng hoá học, có thể đòi hỏi dung sai cỡ $\pm 0,1^\circ C$ hoặc nhỏ hơn. Đối với ứng dụng bất kỳ đòi hỏi dung sai nhỏ hơn $\pm 1,7^\circ C$, sẽ cần đến một hệ điện tử phụ trợ. Các hệ cảm biến bán dẫn silicon, điện trở nhiệt kim loại RTD, cặp nhiệt ngẫu hoặc thermistors hết thảy đều có thể được thiết kế để đảm bảo độ dung sai chặt chẽ như vậy. Nói chung một cách điển hình là các điện trở nhiệt RTDs cho độ chính xác lớn nhất. Nên nhớ rằng trong các ứng dụng điều khiển, độ chính xác của từng phần tử linh kiện và độ chính xác của toàn hệ là hai vấn đề khác nhau. Nếu độ chính xác của hệ không cao hơn $+3^\circ C$, thì việc mua một cảm biến có độ chính xác cao, đắt tiền, sẽ không mang lại hiệu ích. Trong

trường hợp ấy, có khả năng dùng một nhiệt kế lưỡng kim mà đạt được độ chính xác của hệ vẫn như thế với giá thành rẻ hơn nhiều.

Giá thành hệ thống với cảm biến đã chọn quan trọng như thế nào?

Trong những ứng dụng có giá trị cao tốt độ, giá hàng ngàn dollars, thì giá thành của cảm biến nhiệt độ có ý nghĩa nhất định. Vì lý do đó, việc lựa chọn dựa trên cơ sở độ chính xác theo yêu cầu của hệ thống. Nếu độ chính xác cỡ $\pm 3^{\circ}C$ là chấp nhận được, thì một dụng cụ cảm biến cơ-điện (lưỡng kim) hay mạch thermistor giá thành thấp có thể sẽ hiệu quả hơn. Độ chính xác $\pm 0,1^{\circ}C$ sẽ đòi hỏi cách khác, tinh tế hơn (hoặc đắt tiền hơn).

Khi việc có liên quan tới các khoản mục giá thành thấp như các mặt hàng tiêu dùng (máy nấu cà phê nhỏ giọt, máy rang hạt bắp nở, vv...) cảm biến có thể chiếm số phần trăm giá thành lớn hơn nhiều giá thành toàn bộ. Trong những ứng dụng như vậy, độ chính xác của cảm biến ít quan trọng hơn và giá thành hiệu quả lại trở thành có ý nghĩa hơn. Về lượng lớn, các nhiệt kế thermostat thương mại có phân độ theo nhiệt độ có thể thực hiện công việc hiệu quả với giá thành toàn bộ ít hơn 0,5 \$. Với giá thành của cả tổ hợp board mạch, các bộ phận thành phần, dây hàn, vv... giá thành tổng cộng của một cặp nhiệt ngẫu hay của mạch thermistor có thể sẽ lớn hơn nhiều, nhưng hiệu quả thực tế có thể thấp hơn bởi số lượng các bộ phận phụ trợ và các tiếp giáp hàn nối vv...

Cuối cùng, câu hỏi tối hậu là độ chính xác cần phải là bao nhiêu và có thể trả giá bao nhiêu? Cũng phải nhận thức được các điều kiện môi trường mà trong đó cảm biến sẽ được sử dụng và cần phải làm gì để chắc chắn sự sống còn *survival* của nó.

Những phát triển mới nhất và triển vọng. Các nhà sản xuất cảm biến nhiệt hiện đang làm việc với các cảm biến nhiệt độ có thể chịu đựng được nhiệt độ cao hơn trong khoảng thời gian hoạt động lâu

bền hơn. Ví dụ, hãng Honeywell đang làm việc với các nhà sản xuất các bộ nạp điện turbo để phát triển cả các loại điện trở nhiệt kim loại RTDs và cả cảm biến nhiệt bán dẫn thermistors để đáp ứng yêu cầu đo nhiệt độ cao tới $1100^{\circ}C$.

Sự tăng trưởng nhu cầu xe máy tiết kiệm nhiên liệu đang dẫn tới sự phát triển này. Với việc đưa vào áp dụng tiêu chuẩn phát xạ khí thải EURO 4 trong năm 2005 cũng như tiêu chuẩn LEV ở Mỹ, các nhà sản xuất động cơ máy nổ đang nỗ lực gia tăng công suất ra ngày càng lớn hơn từ các kiểu máy có kích cỡ ngày càng nhỏ hơn. Xu hướng hiện nay hướng tới tăng cường sử dụng các bộ chargers turbo kết hợp với kích cỡ máy nhỏ. Các cảm biến nhiệt độ cao cho phép các hệ điều khiển kiểm tra được lượng tiêu thụ khí gas của máy nổ vận hành và sự quá nhiệt của các bộ nạp turbo.

3.2 – Các phần tử cảm biến nhiệt kim loại.

3.2.1 – Phần tử cảm biến nhiệt dẫn nở.

Các nhiệt kế là dụng cụ dùng đo nhiệt độ dựa trên cơ sở đo một đại lượng vật lý nào đó có mối phụ thuộc nhiệt độ tương minh theo một định luật nhất định của chất được chọn làm nhiệt biểu. Tùy theo đại lượng (biến thiên theo nhiệt độ) và tùy theo vật nhiệt biểu, các nhiệt kế dẫn nở được phân loại dựa trên nguyên lý dẫn nở chiều dài của vật rắn hay thể tích chất lỏng hoặc chất khí khi thay đổi nhiệt độ (mà áp suất không đổi). Phần lớn chúng có độ chính xác thấp, không ổn định, nhưng do đơn giản về cấu trúc và chế tạo nên thường được sử dụng để lấy tín hiệu trong các quá trình điều khiển, đóng ngắt mạch điện, ít được sử dụng làm cảm biến đo nhiệt độ.

Các phần tử cảm biến dẫn nở thường được xếp vào loại cảm biến nhiệt cơ-điện. Chúng bao gồm hai kiểu:

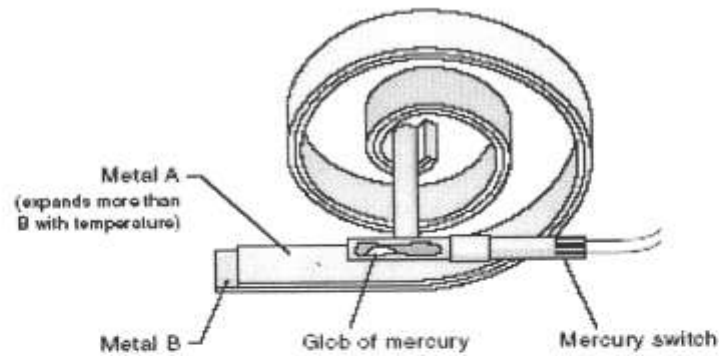
- Nhiệt kế lưỡng kim (*bi-metal thermostat*) – dựa trên nguyên lý dẫn nở vật liệu kim loại; và:

- Nhiệt áp kế – nhiệt kế dạng ống *bulb* và dạng mao dẫn *capillary*, dựa trên nguyên lý dẫn nở chất lỏng.

Nhiệt kế lưỡng kim. Các phần tử nhiệt kế lưỡng kim là hai phiến kim loại khác bản chất được ghép chặt với nhau dưới nhiệt độ và áp suất, để tạo thành một băng kim loại có độ dẫn nở nhiệt khác nhau, nên khi có tác động nhiệt thì sẽ bị biến dạng (dẫn nở cong lên chẳng hạn).

Độ biến dạng phụ thuộc độ dẫn nở và do đó phụ thuộc nhiệt độ. Bằng cách khai thác độ dẫn nở khác nhau của hai vật liệu, năng lượng nhiệt có thể được chuyển đổi thành dịch chuyển cơ-điện. Trong kỹ thuật thì các phần tử dẫn nở lưỡng kim được ứng dụng phổ biến trong các thiết bị điện (làm rele nhiệt, rele dòng, vv...).

Một ví dụ điển hình nguyên lý hoạt động của kiểu cảm biến nhiệt lưỡng kim này dùng điều khiển một contact chuyển mạch thủy ngân (hình 3.2). Cảm biến nhiệt lưỡng kim này đơn giản là một băng lưỡng kim uốn hình xoắn ốc. Băng lưỡng kim là một tấm dát mỏng của hai kim loại có hệ số dẫn nở nhiệt khác nhau. Khi nhiệt độ tăng, kim loại ở mặt trong dẫn nở nhiều hơn là kim loại ở mặt ngoài, và đường xoắn ốc có xu hướng duỗi thẳng ra. Các cảm biến này được sử dụng một cách điển hình để điều khiển đóng mở tiếp điểm điện, như trong nhiệt kế gia dụng dùng dùng chuyển mạch thủy ngân. Trong hình 3.2 khi nhiệt độ tăng, ống chứa thủy ngân lỏng xoay theo chiều kim đồng hồ. Khi ống xoay qua nằm ngang, thủy ngân chảy xuống phải và điện tiếp xúc điện giữa các điện cực. Một ưu điểm nổi bật của hệ này là có thể sử dụng trực tiếp tín hiệu ra của chuyển mạch mà không phải chuẩn hoá tín hiệu. Ngày nay, các chuyển mạch thủy ngân đã bị loại khỏi ứng dụng bởi những lý do môi trường, nhưng các chuyển mạch kiểu cơ cấu tiếp điểm contact đã chiếm vị trí đó.



Hình 3.2 – Cảm biến nhiệt lưỡng kim điều khiển chuyển mạch thủy ngân (trong hình là trạng thái “ngủ”).

Có hai công nghệ nhiệt kế lưỡng kim cơ bản:

- Phần tử tác động nhanh *snap-action*, và:
- Phần tử rã từ từ *creeper*.

Phần tử nhiệt kế tác động nhanh kiểu *snap*- được tạo dạng hình đĩa lưỡng kim, có tính năng thay đổi trạng thái hầu như tức thời (từ ‘mở’ chuyển sang ‘đóng’ và từ ‘đóng’ sang ‘mở’). Phần tử kiểu tác động chậm *creeper* có dạng thanh lưỡng kim, có tính năng mở và đóng các tiếp điểm từ từ. Tốc độ mở được xác định bởi loại lưỡng kim đã chọn và phạm vi thay đổi nhiệt độ của chúng. Nhiệt kế lưỡng kim cũng được chế sẵn theo phương án điều chỉnh được. Bằng cách vặn vít, thay đổi kết cấu hình học bên trong làm thay đổi điểm đặt nhiệt độ *setpoint*.

Một cách điển hình, các cảm biến cơ-điện dạng lưỡng kim này là những bộ phận cấu thành đơn giản nhất trong giao diện với các ứng dụng của chúng. Bởi tính năng mở hay đóng mạch khi nhiệt độ tăng, chúng có khả năng ngắt mạch nguồn cung cấp cho điều khiển, tắt mạch hoặc đóng mạch nguồn cung cấp âm thanh cảnh báo, bật mở quạt, vv... Trong đa số trường hợp, các nhiệt kế điều nhiệt thermostats được kết nối vào một chân của mạch nguồn cung cấp. Khi đạt đến nhiệt độ đo, dụng cụ sẽ tác động làm mở hay ngắt mạch.

Khi phụ tải điện cần thiết vượt quá khả năng của nhiệt kế, có thể dùng nhiệt kế phối hợp với một relay, một tiếp điểm hoặc phần tử bộ phận nào khác tác động mạch.

Việc lựa chọn dụng cụ là rất quan trọng khi sử dụng các dụng cụ cơ-điện. Trong những môi trường ăn mòn hay có độ ẩm cao phải dùng những dụng cụ được bao bọc kín. Có thể dùng những dụng cụ không bọc cho từng ứng dụng cụ thể dựa trên thông tin cung cấp từ nhà sản xuất. Tuy nhiên, chúng cũng nên bọc bằng epoxy hay loại vỏ ngoài đúc khuôn nào đó.

Đối với những ứng dụng có độ rung động hay va đập cao, việc thiết kế mẫu là quan trọng. Các nhiệt kế thương mại phân độ theo nhiệt độ điển hình chỉ dựa vào áp suất lò xo lõi để giữ tiếp điểm đóng. Tiếp điểm có thể bị rung dưới tác động rung động ở mức độ cao và mất tiếp xúc sớm hơn dự định. Hãy tham khảo ý kiến với nhà sản xuất trong suốt giai đoạn thiết kế cho kiểu ứng dụng này.

Những dụng cụ sẽ phải đối mặt với nhiệt độ dưới $-17,8^{\circ}C$ ($0^{\circ}F$) cần phải khai thác chất khí trơ khô bên trong để hạn chế ngưng tụ hơi ẩm tới mức tối thiểu, hay hiện tượng đóng băng trên bề mặt tiếp xúc. Phụ tải mạch điện phải tuân theo những giới hạn mà nhà sản xuất quy định. Việc sử dụng một dụng cụ trên mức giới hạn quy định có thể dẫn tới hư hỏng vĩnh viễn và làm hỏng cả mục tiêu ứng dụng.

Sự lựa chọn dụng cụ nên dựa trên cơ sở môi trường lộ nhiệt, không phải nhiệt độ đo. Một dụng cụ đòi hỏi phải hoạt động trong phạm vi phù hợp với các tính chất vật liệu của nó, nhưng phải cũng phải gần xấp xỉ mức ngưỡng nhiệt độ nhất định cao hơn. Theo thời gian, làm việc ở mức ngưỡng này sẽ dẫn tới sự hư hỏng dụng cụ.

Các nhiệt kế lưỡng kim đã được sử dụng hơn 50 năm nay trong những ứng dụng khác nhau như máy nấu càphê nhỏ giọt hay trong tàu con thoi vận chuyển vũ trụ *Space Shuttle*. Trong khi được coi như một

giải pháp giá thành thấp đối với thị trường cung cấp, chúng cũng là một công cụ có độ an toàn tin cậy cao để sử dụng lâu bền trong các ứng dụng quân sự hay vũ trụ.

Các cảm biến nhiệt kế lưỡng kim đều có sẵn theo các phương án dụng cụ hở hay bao kín ở nhiệt độ tăng cao. Tùy theo kiểu loại dụng cụ được lựa chọn, điểm đặt nhiệt độ có thể trong phạm vi từ -85 tới $+371^{\circ}C$ (từ -120 tới $+700^{\circ}F$). Một số dụng cụ sử dụng một bộ gia nhiệt bên trong để cung cấp tính năng chống cả nhiệt độ quá ngưỡng và quá dòng.

Các dụng cụ nhiệt kế lưỡng kim được chế sẵn theo nhiều kích cỡ, kết cấu và tính năng khác nhau. Bởi thường phải mang tải ứng dụng thực tế, chúng không đòi hỏi bất kỳ giải pháp mạch phụ thêm nào để thực hiện chức năng của mình. Các tính năng dòng tải thường cỡ từ phụ tải thô cho tới dòng cao cỡ 25 A trên giây $[A/s]$. Độ chính xác của các sản phẩm tiêu chuẩn là khoảng $\pm 1,7^{\circ}C$ ($\pm 3^{\circ}F$).

Các nhiệt kế thermostats có tuổi thọ lâu bền một cách điển hình với phụ tải điện đặc trưng và có thể biến động tùy thuộc vào việc chúng được dùng trong ứng dụng điều khiển hay kiểm tra như thế nào

Ưu điểm:

- Giao diện trực tiếp với mạch ứng dụng đối với những đáp ứng nhanh.
- Không đòi hỏi những linh kiện / mạch điện phụ trợ.
- Được chế sẵn ở cả hai mẫu thiết kế là có bao kín hay không vỏ bọc.
- Có tính năng chịu dòng tải lớn.
- Phạm vi nhiệt độ làm việc rộng.
- Được định giá dựa trên cơ sở thị trường / ứng dụng.
- Sẵn có những phương án tính năng an toàn tin cậy chất lượng cao ứng dụng cho quân sự và cho NASA.

Nhược điểm:

- Độ chính xác thấp hơn hầu hết các hệ cảm biến khác.
- Có kích thước lớn hơn so với các hệ cảm biến khác.
- Dụng cụ kiểu tác động chậm *creepage-type* không thể giao diện với các bộ phận điện tử thành phần khác.
- Có thể tác động sai “chập mạch” vào thời kỳ cuối tuổi thọ.

Nhiệt áp kế. Một dạng nhiệt kế khác, dựa trên cơ sở sự phụ thuộc vào nhiệt độ của áp suất chất lỏng, chất khí trong thể tích kín. Đó là kiểu nhiệt biểu chất khí theo sự thay đổi áp suất hay thể tích khí lý tưởng, thường dùng là nhiệt biểu khí có thể tích không đổi. Chất liệu thu nhiệt có thể là chất lỏng (rượu, thủy ngân), chất khí (nitro, heli), chất hơi (acetone). Được ứng dụng rộng rãi trong các môi trường dễ cháy nổ, chỉ thị trực tiếp không cần nguồn điện, có thể truyền chỉ thị đi xa (10[m] – đối với nhiệt áp kế chất lỏng, 60[m] – chất khí). Nhược điểm là độ chính xác thấp ($\pm 1,5\%$ với chất lỏng và $\pm 2,5\%$ với chất hơi), quán tính lớn, dễ bị rò rỉ, ... Điển hình là các nhiệt kế dạng ống *bulb* và dạng mao dẫn *capillary* sử dụng tính chất mao dẫn của chất lỏng co giãn để đóng mở bộ tiếp điểm điện. Chất lỏng đựng trong ống có thể đặt cách chuyển mạch (150 – 200) [mm]. Điều đó cho phép cảm biến được nhiệt độ làm việc cao hơn một chút so với hầu hết các cảm biến tiếp xúc trực tiếp khác. Bởi giải pháp kết cấu công nghệ như vậy nên tác động chuyển mạch của các dụng cụ này là chậm so với các dụng cụ kiểu tác động nhanh *snap*-.

Các nhiệt kế dạng ống *bulb* và *capillary* được chế sẵn dưới dạng đơn cực–nhảy đơn SPST (*single pole, single throw*) hay đơn cực–nhảy kép SPDT (*single pole, double throw*) và mẫu thiết kế điều chỉnh được điểm đặt nhiệt độ trong phạm vi từ -35 tới $+400^{\circ}\text{C}$ (-31 tới 752°F). Chúng cũng được chế xuất dưới dạng đặt định nhiệt độ bằng tay. Bởi kết hợp tính năng chịu phụ tải điện cao với các ứng dụng đầu cuối điển hình và tác động chuyển mạch tương đối chậm của chúng, người ta

dùng những vật liệu tiếp xúc cực kỳ cứng vững. Điều đó dẫn tới trở kháng tiếp xúc ban đầu cao, không cho phép sử dụng chúng trong những ứng dụng dòng nhỏ.

Ưu điểm:

- Có thể lắp đặt cảm biến ở vị trí khá xa bộ phận điều khiển trung tâm.
- Có sẵn các hệ quá nhiệt tích hợp bên trong cảm biến.
- Phạm vi nhiệt độ vận hành rộng.
- Có tính năng chịu dòng tải lớn.

Nhược điểm:

- Có kích thước lớn.
- Tương đối đắt tiền.
- Phạm vi ứng dụng hạn chế.
- Không có khả năng lập trình (bởi người sử dụng).

3.2.2 – Nhiệt điện trở kim loại *Thermoresistances*.

Nguyên lý hoạt động của các cảm biến nhiệt điện trở dựa trên cơ sở sự thay đổi trở kháng của vật liệu (dây dẫn kim loại hay chất bán dẫn) bởi thay đổi nhiệt độ. Nhiệt điện trở kim loại RTD (*resistive temperature devices*), cũng giống như các nhiệt điện trở bán dẫn thermistors, khai thác sự thay đổi điện trở theo nhiệt độ để đo lường hoặc điều khiển nhiệt độ.

Các phần tử nhiệt-điện-trở kim loại có sự phụ thuộc điện trở dây dẫn vào nhiệt độ là tương đối ổn định:

$$R_T = R_0(1 + \alpha \cdot \Delta T); \quad (3.8)$$

ở đây, R_T – điện trở ở nhiệt độ T [$^{\circ}C$], tính bằng [Ω]; R_0 – điện trở ở nhiệt độ (dẫn xuất) $T_0 = 0[^{\circ}C]$, tính bằng [Ω]; α – hệ số nhiệt của vật liệu trong khoảng biến thiên nhiệt độ ΔT , tính theo đơn vị [$1/^{\circ}K$] – đối với dây dẫn vật liệu là đồng, thì trong khoảng (0 ÷ 100)

[C] giá trị hệ số nhiệt α được xác định như trị trung bình $\alpha_0 = 0,00428$ [1/độ]. Cần lưu ý tới giá trị của hệ số α_0 : trong khoảng $(t_0 - t_k)$ biết R_3 tại t_3 , để tính R_4 tại t_4 trong khoảng $(t_0 - t_k)$, không thể thay:

$$R_4 = R_3[1 + \alpha_0(t_4 - t_3)]; \quad (3.9)$$

mà phải tính theo:

$$R_4 = R_3 + R_0\alpha_0(t_4 - t_3); \quad (3.10)$$

còn R_0 thì được tính theo biểu thức (3.11):

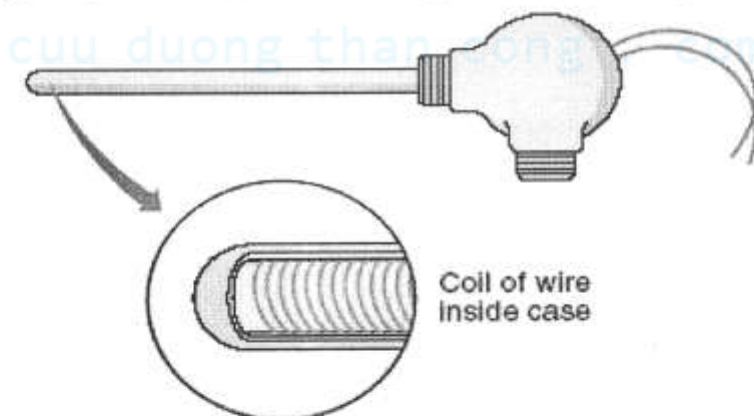
$$R_3 = R_0[1 + \alpha_0(t_3 - t_0)]. \quad (3.11)$$

Một cách điển hình, các điện trở nhiệt kim loại được chế xuất từ các vật liệu có hệ số nhiệt độ dương (tăng điện trở khi nhiệt độ tăng) và giá trị điện trở đặc tính lớn. Yêu cầu nữa là hệ số nhiệt càng ít phụ thuộc vào nhiệt độ càng tốt, như vậy thì trị số nhiệt-điện-trở của phần tử R_T sẽ biến thiên theo ΔT tuyến tính hơn. Các chất kim loại như nickel và platin đáp ứng với yêu cầu này tốt hơn cả. Đối với chúng, trị số điện trở cũng vẫn giữ nguyên sau nhiều lần gia nhiệt nóng-lạnh (tính tái lập lại), tác dụng của phương pháp xử lý nhiệt làm cho tính năng này vẫn giữ được trong một khoảng thời gian dài (tính ổn định theo thời gian). Trị số điện trở đặc tính của nickel và platin tương đối lớn nên cho phép dùng dây trở tương đối ngắn, chế được những phần tử cảm biến có kích thước nhỏ.

Các điện trở nhiệt kim loại có đặc điểm: hệ số nhiệt điện trở lớn và ổn định; độ bền hoá học cao khi bị đốt nóng hoặc làm lạnh; có thể sản xuất loạt với các đặc tính kỹ thuật như nhau. Điện trở nhiệt kim loại rất ổn định theo thời gian, và nhờ có tính đơn giản kết cấu, không chịu ảnh hưởng một cách điển hình bởi các điều kiện môi trường. Vật liệu thường dùng là đồng, sắt, bạch kim platin (*platinum*), nickel (nickel có thể đo tới 250 - 300 °C), có thể là nickel/sắt hợp kim, và wolfram.

Nhiệt điện trở kim loại là một loại cảm biến nhiệt độ dựa trên thực tế là các kim loại có hệ số nhiệt độ dương PTC, tăng điện trở khi nhiệt độ tăng. Hình 3.3 giới thiệu một nhiệt điện trở kim loại điển hình. Một dây dẫn, như platinum, được quấn quanh một thanh gốm hay thủy tinh (đôi khi cuộn dây được kẹp giữa hai thanh gốm). Dây platinum có hệ số nhiệt độ là $0,0039[\Omega/\Omega/^{\circ}C]$, có nghĩa là điện trở sẽ gia tăng thêm $0,0039[\Omega]$ cho mỗi ohm dây dẫn ứng với mỗi độ nhiệt độ gia tăng. Các nhiệt điện trở kim loại sẵn có với nhiều trị số điện trở, mà trị số thông dụng nhất là $100[\Omega]$. Như vậy, một nhiệt điện trở platin $100-\Omega$ (loại Pt-100) có điện trở danh định là $100[\Omega]$ ở $0^{\circ}C$, và nó có hệ số nhiệt độ dương PTC cỡ $0,39[\Omega/^{\circ}C]$.

Các nhiệt điện trở kim loại có ưu điểm là chính xác và ổn định (các đặc tính hầu như không thay đổi theo thời gian). Nhược điểm là độ nhạy thấp (sự thay đổi điện trở ứng với mỗi độ là nhỏ), đáp ứng thời gian đối với những thay đổi nhiệt độ là tương đối chậm, và giá thành cao.



Hình 3.3 – Nhiệt điện trở kim loại RTD
(*resistance temperature detector*).

Cảm biến nhiệt điện trở platin và nickel. Cảm biến nhiệt điện trở platin là loại có độ chính xác cao, được coi như chính xác nhất, ổn định, thường được dùng làm mẫu chuẩn, giá thành cao. RTD platin thường được dùng đo nhiệt độ trong khoảng $(-200 \div +660) [^{\circ}C]$, còn RTD nickel có thể đo tới $(250 \div 300) [^{\circ}C]$. Các điện trở nhiệt này có sự

thay đổi điện trở khá tuyến tính, cho phép diễn dịch một cách dễ dàng sang nhiệt độ.

Bởi điện trở suất thấp, cảm biến nhiệt điện trở platinum có kết cấu dây quấn mảnh (đường kính dây trở thường 0,05 – 0,07 [mm]) và dài quấn quanh lõi gốm để đạt điện trở 100[Ω] (xem hình 3.2). Đó thường là trị số điện trở danh định tiêu chuẩn ở 0[°C] đối với các kiểu nhiệt điện trở RTDs.

Các phần tử thực tế cần có khả năng thay thế lắp lẫn được. Đối với các phần tử cảm biến nhiệt nickel và platin thì trị số điện trở danh định ở nhiệt độ 0 [°C] là $R_0 = 100[\Omega]$, nên được ký hiệu là Ni-100 và Pt-100. Các thông số kỹ thuật đặc trưng của chúng được cho trong bảng 3.2.

Bảng 3.2 – Thông số kỹ thuật Ni-100 và Pt-100.

Điện trở nhiệt nickel 100 [Ω] – ký hiệu: Ni-100.

Hệ số nhiệt độ α trung bình, trong khoảng (0 ÷ 100) [°C]:

$$\alpha = 0,00618 [1/^\circ K]$$

Phạm vi nhiệt độ đo:

$$(-60 \div +150) [^\circ C]$$

Giá trị cơ bản:

<i>Nhiệt độ</i>	-60 [°C]	0 [°C]	+100 [°C]
<i>Điện trở</i>	69,5 ± 1,0 [Ω]	100,0 ± 0,2 [Ω]	161,8 ± 0,8 [Ω]

Điện trở nhiệt platin 100 [Ω] – ký hiệu: Pt-100.

Hệ số nhiệt độ α trung bình, trong khoảng (0 ÷ 100) [°C]:

$$\alpha = 0,00385 [1/^\circ K]$$

Phạm vi nhiệt độ đo: Class B: (-200 ÷ +650) [°C]

Giá trị cơ bản:

<i>Nhiệt độ</i>	-200 [°C]	0 [°C]	+200 [°C]	+400 [°C]
-----------------	-----------	--------	-----------	-----------

Điện trở A:

$18,49 \pm 0,24 [\Omega]$ $100,00 \pm 0,13 [\Omega]$ $175,84 \pm 0,20 [\Omega]$ $247,04 \pm 0,33 [^{\circ}C]$

Class B:

$18,49 \pm 0,56 [\Omega]$ $100,00 \pm 0,30 [\Omega]$ $175,84 \pm 0,48 [\Omega]$ $247,04 \pm 0,79 [^{\circ}C]$

Phần tử nhiệt Pt-100 có hai cấp chính xác A và B. Cấp chính xác B dùng làm phần tử thực nghiệm. Đối với những phép đo yêu cầu độ chính xác cao thì phải dùng những phần tử cấp chính xác cao hơn, phạm vi nhiệt độ cũng có thể lớn hơn, nhưng bị giới hạn ở $650 [^{\circ}C]$. Ngày nay có những phần tử nhiệt-điện-trở có trị danh định lớn hơn hay nhỏ hơn (10, 46, 100 $[\Omega]$), nhưng việc diễn dịch tín hiệu khó khăn hơn.

Cảm biến nhiệt điện trở sắt, đồng. Trong kỹ thuật còn dùng các cảm biến nhiệt-điện-trở khác như sắt, đồng, được dùng như các chế phẩm RTDs giá thấp. Cảm biến nhiệt-điện-trở đồng có sự phụ thuộc điện trở dây đồng vào nhiệt độ tương đối ổn định, được dùng một cách thông dụng. Người ta thường sản xuất điện trở đồng từ dây có đường kính 0,2 $[mm]$ và ở $0 [^{\circ}C]$ có điện trở danh định là 53 $[\Omega]$ và 100 $[\Omega]$, dùng đo nhiệt độ trong khoảng $(-50 \div -180) [^{\circ}C]$, vì ở nhiệt độ cao đồng dễ bị oxy hoá.

Sự thay đổi điện trở đồng thực tế là tuyến tính hơn platinum. Tuy nhiên, phạm vi nhiệt độ của nó bị hạn chế hơn và nó nhạy với sự xâm thực ăn mòn mà không có đối với platinum. Các dụng cụ đồng hay nickel/sắt hợp kim có thể bị ảnh hưởng bởi xâm thực hoặc các môi trường độ ẩm cao và phải được cách ly khỏi những điều kiện môi trường như vậy. Các dây dẫn dùng nối phần tử cảm biến với thiết bị đo thường được làm từ nickel, hợp kim nickel, đồng tráng thiếc, đồng tráng bạc, hay tráng nickel, và được cách điện bằng các chất dẻo PVC, FEP Teflon®, TFE Teflon®, và sợi thủy tinh. Các vật liệu được chọn cũng ảnh hưởng tới nhiệt độ mà RTDs được sử dụng trong đó.

Các nhà sản xuất thường chào hàng các kết cấu cho nhiệt độ thấp và cho nhiệt độ cao. Các kết cấu nhiệt độ thấp có phạm vi từ 400

tới $500^{\circ}F$, và thường có các dây quấn nickel hay đồng tráng bạc, cách điện bằng Teflon với lớp bọc epoxy. Các kết cấu nhiệt độ cao có phạm vi từ 900 tới $1200^{\circ}F$ và sử dụng cách điện bằng sợi thủy tinh, dây quấn là đồng tráng nickel với chất gắn kết gốm.

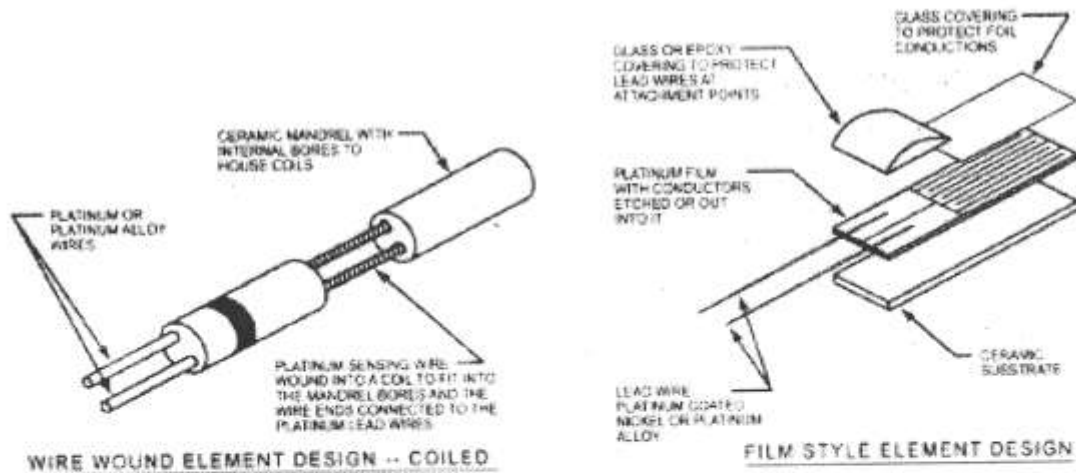
Các RTDs có thể được lắp ráp với những vật liệu khác nhau. Thông thường đa số trường hợp thì phần tử cảm biến và các dây dẫn được đút vào một ống thép không rỉ bịt kín một đầu, được bọc trong lớp giảm chấn hay vật liệu truyền nhiệt như bột gốm.

Bảng 3.3 cho số liệu so sánh phạm vi nhiệt độ ứng dụng của các vật liệu cảm biến nhiệt điện trở kim loại khác nhau.

Bảng 3.3 – Các vật liệu phần tử cảm biến và giới hạn nhiệt độ.

Vật liệu	Phạm vi nhiệt độ, [$^{\circ}F$]
Platinum	-450 ÷ +1200
Nickel	-150 ÷ +600
Đồng	-100 ÷ +300
Nickel/Sắt	+32 ÷ +400

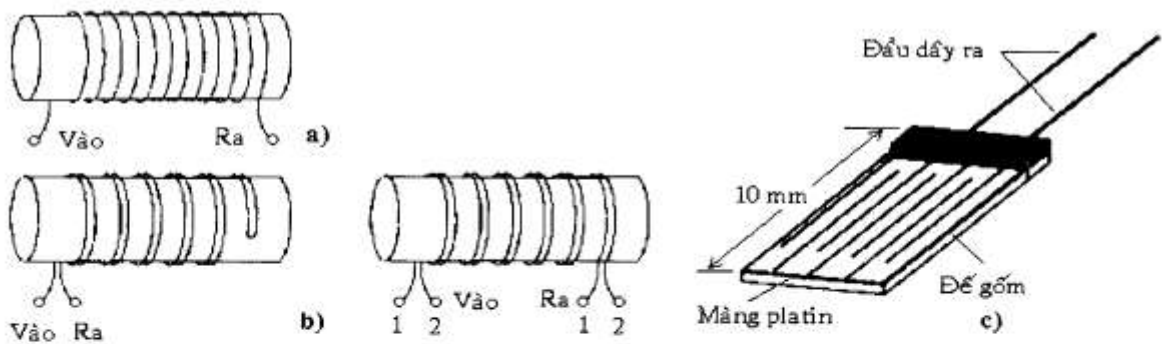
Kết cấu cảm biến. Các cảm biến nhiệt RTD thường có kết cấu bao gồm một phần tử nhiệt điện trở, các dây nối giữa phần tử và máy đo, và một giá đỡ định vị phần tử trong quá trình đo. Phần tử nhiệt điện trở kim loại là một điện trở thay đổi trị số điện trở theo nhiệt độ. Phần tử thường là một cuộn dây hoặc màng điện dẫn bằng chất điện dẫn được khắc hoặc được cắt hình trên nó. Nó thường có vỏ bọc bằng gốm và được gắn kín bằng chất gốm cement hoặc bằng thủy tinh. (hình 3.4).



Hình 3.4 – Các mẫu thiết kế phần tử cảm biến nhiệt điện trở kim loại RTD.

Các cảm biến nhiệt điện trở kim loại dạng dây cuốn và dạng màng mỏng khác mẫu được chế xuất dưới nhiều cấu hình tiêu chuẩn khác nhau. Điển hình là dùng các chất cách điện loại Karton, caosu silicon, Mylar hoặc vật liệu điện môi polyester sạch. Chúng có thể được lắp ráp lên những bề mặt cong hoặc bề mặt hình dạng bất thường bằng cách sử dụng chất gắn kết nhạy áp suất, keo dán nhiệt dẫn, băng dải silicon hoặc kẹp cơ khí. Dạng cấu trúc này đặc biệt thích hợp cho việc kiểm tra những bề mặt diện tích lớn như mặt ngoài đường ống hoặc bể chứa. Chúng cũng có thể được tích hợp thành một mạch đốt nóng linh hoạt dùng trong kỹ thuật điều khiển tối ưu.

Trong kỹ thuật nhiệt độ dùng dây nhiệt-trở khá mảnh, đường kính cỡ $(0,05 \div 0,3)$ [mm]. Dây cuốn theo nhiều kiểu: kiểu đơn *linear*, kiểu chập đôi *bifilare*. Hình 3.5 giới thiệu một vài kiểu cuốn dây như vậy.



Hình 3.5 – Kiểu dạng các phần tử nhiệt-điện-trở kim loại:

a). Kiểu dây cuốn đơn; b). Kiểu dây cuốn đôi; c). Kiểu màng mỏng.

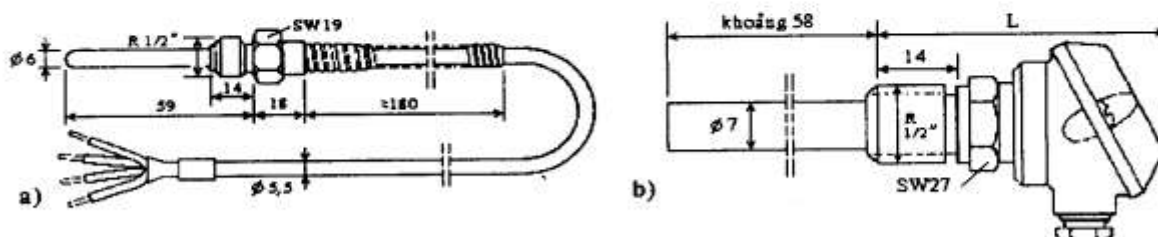
Trong một số chế xuất công nghiệp, dây dẫn nickel mảnh được quấn trên bản thủy tinh hay mica. Bản giá cuốn dây được bọc cả hai phía bằng băng mica. Lớp phủ được cố định bằng dính tán hay bằng keo dán. Một kiểu khác có lõi cuốn dây là ống thủy tinh, bọc phủ bằng ống mềm bảo vệ. Có loại là dây platin quấn trên lõi gốm và phủ bằng một lớp gốm sứ. Kiểu này đặc biệt tốt cho những ứng dụng ở nhiệt độ cao.

Ở những kiểu nêu trên cũng có thể quấn dây kiểu cuốn đôi. Kiểu dây cuốn đôi không bị dòng cảm ứng khi đấu điện, thêm vào đó có thể làm việc với điện xoay chiều. Chúng cho phép đấu mạch như hai phần tử biến trở độc lập, có thể thực hiện phương án một phần tử dùng cho mạch đo – chỉ thị, còn phần tử kia dùng cho mạch điều khiển – khống chế. Cách cuốn dây chập đôi cũng là để tuyến tính hoá và bù cân bằng giá trị đo. Một ưu điểm nữa là cả hai phần tử đều trong cùng những điều kiện, môi trường như nhau, khi được mắc mạch thích hợp có thể bù trừ được những ảnh hưởng môi trường nhiều.

Trong ứng dụng thực tế thường cần đến những phần tử có kích thước nhỏ, tế vi. Điều này dẫn tới công nghệ chế xuất mới. Thay vì dây dẫn kim loại, người ta dùng biến trở màng mỏng. Các lớp màng mỏng này được phủ theo nhiều phương pháp công nghệ khác nhau lên nền phẳng hay lõi hình trụ. Kích thước hình học được gia công, tinh chỉnh chuẩn xác bằng tia laser, những mép rìa màng mỏng và lớp phủ

được tạo dạng chính xác. Như vậy, độ chuẩn xác gia công rất cao. Phần tử biến trở nhiệt có kích thước nhỏ, và do đó mà khối lượng cũng nhỏ, cho phép có được tốc độ đáp ứng cao, gần như tức thời. Hình 3.3c giới thiệu cấu trúc một phần tử biến trở màng mỏng platin như vậy.

Phần tử biến trở nhiệt được lắp trong một vỏ ống bảo vệ, có chi tiết cố định lắp ráp (đầu ren) và ổ đấu dây ra, cho nên những đầu dò như vậy được gọi là “nhiệt kế nhiệt-điện-trở” (hình 3.6).

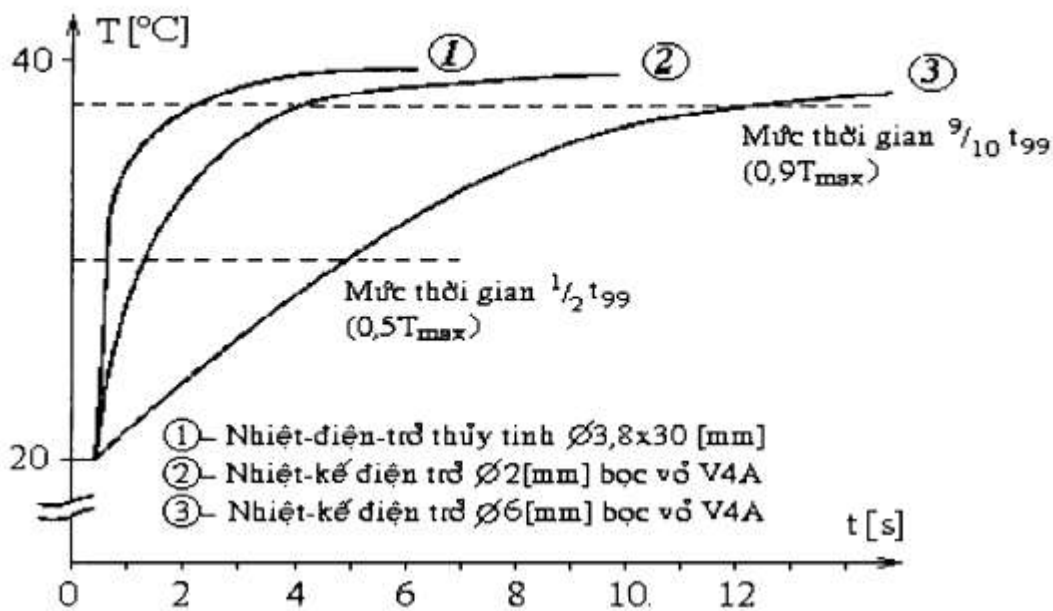


Hình 3.6 – Hình dạng kết cấu nhiệt kế công nghiệp:

- a). Nhiệt kế điện trở kép, gá lắp bằng ren vít;
- b). Nhiệt kế điện trở có ổ nối dây.

Phần tử nhiệt điện trở trong RTD được chế tạo cho một trị số điện trở đặc trưng ở một nhiệt độ nhất định. Các đường cong đặc tuyến điện trở đối với các RTDs được tiêu chuẩn hoá bởi nhiều hãng đại diện khác nhau, làm cho RTDs dễ dàng thay thế lắp lẫn được trong số các chế xuất loạt.

Kiểu dạng kết cấu, đặc biệt trường hợp có vỏ bọc bảo vệ, tất nhiên sẽ ảnh hưởng nhiều tới đặc tính thời gian của phần tử biến trở nhiệt. Hình 3.7 là đồ thị đặc tuyến đáp ứng đối với thay đổi nhiệt độ trong phạm vi 20 [°C] của ba kiểu nhiệt-điện-trở Pt-100 khác nhau.



Hình 3.7 – Đặc tính thời gian của nhiệt-điện-trở kim loại.

Hiệu chuẩn cảm biến. Độ chính xác của cảm biến là hàm của dung sai chế phẩm và hiệu chuẩn phụ trợ bất kỳ nào mà cảm biến có thể có được. Hiệu chuẩn có thể tăng cường độ chính xác của một điện trở nhiệt gấp 10 lần dung sai chế phẩm. Các trị số độ chính xác trong bảng 3.4 cho dung sai chế phẩm chặt chẽ để tinh chỉnh các RTDs với điểm đóng băng $R_0 \pm 0,1\%$. Trị số của điện trở màng mỏng trong bảng 3.5 dành cho điều chỉnh tinh các RTDs platinum. Cả hai trường hợp màng mỏng và dây quấn tinh chỉnh RTDs với 0,00385 trị alpha tương ứng IEC751 Class B.

Trong việc đánh giá chất lượng loạt lớn, các RTDs có thể được tinh chỉnh bằng laser đạt điện trở định chuẩn theo tính năng thay thế lắp lẫn ở nhiệt độ bất kỳ trong khoảng từ 0 tới 150°C hoặc ở điểm đóng băng là 100Ω hoặc 1000Ω. Việc tinh chỉnh bằng laser cũng cho phép làm cho điện trở của RTDs phù hợp với các giá trị hiệu số alpha ở nhiệt độ mục tiêu đo.

Bảng 3.4 – Độ chính xác theo nhiệt độ.

Điểm đóng băng, Trị alpha	1000 0,00375	100 0,00385	100 0,003902
Nhiệt độ, [°C]	Điện trở ± ΔR, [Ω]		
-200	5,1	0,5	0,5
-100	2,4	0,3	0,3
0	1,0	0,1	0,1
100	2,2	0,2	0,2
200	4,3	0,4	0,4
300	6,2	0,6	0,6
400	8,3	0,8	0,8
500	9,6	1,0	1,0
600	10,4	1,2	1,2
Nhiệt độ, [°C]	Nhiệt độ ± ΔT, [°C]		
-200	1,2	1,2	1,2
-100	0,6	0,6	0,6
0	0,3	0,3	0,3
100	0,6	0,6	0,6
200	1,2	1,2	1,2
300	1,8	1,8	1,8
400	2,5	2,5	2,5
500	3,0	3,0	3,0
600	3,3	3,6	3,6

Bảng 3.5 – Điện trở nhiệt platinum theo nhiệt độ.

Điểm đóng băng, Trị số alpha, Kiểu dạng	1000 [Ω] 0,00375 Pt Màng mỏng	100 [Ω] 0,00385 Pt Màng mỏng	100 [Ω] 0,00385 Pt WW	100 [Ω] 0,003902 PtWW
Nhiệt độ, [°C]	Điện trở, [Ω]			
-200	199,49	18,10	18,10	19,76
-180	284,87	26,81	26,81	28,01
-160	368,57	35,35	35,35	36,17

-140	450,83	43,75	43,75	44,27
-120	531,83	52,04	52,04	52,31
-100	611,76	60,21	60,21	60,31
-80	690,78	68,30	68,30	68,27
-60	769,01	76,32	76,32	76,22
-40	846,58	84,27	84,27	84,15
-20	923,55	92,16	92,16	92,08
0	1000,00	100,00	100,00	100,00
20	1075,96	107,79	107,79	107,92
40	1151,44	115,54	115,54	115,84
60	1226,44	123,24	123,24	123,76
80	1300,96	130,89	130,89	131,69
100	1375,00	138,50	138,50	139,61
120	1448,56	146,06	146,06	147,53
140	1521,63	153,57	153,57	155,45
160	1594,22	161,04	161,04	163,37
180	1666,33	168,46	168,46	171,29
200	1737,96	175,83	175,83	179,21
220	1809,11	183,16	183,16	187,14
240	1879,78	190,43	190,43	195,06
260	1949,96	197,67	197,67	202,98
280	2019,67	204,85	204,85	210,90
300	2088,89	211,99	211,99	218,82
320	2157,63	219,08	219,08	226,74
340	2225,89	226,12	226,12	234,66
360	2293,66	233,12	233,12	242,59
380	2360,96	240,07	240,07	250,51
400	2427,78	246,98	246,98	258,43
420	2494,11	253,83	253,83	266,35
440	2559,96	260,65	260,65	274,27
460	2625,33	267,41	267,41	282,19
480	2690,22	274,13	274,13	290,11
500	2754,63	280,80	280,80	198,04

520	2818,55	287,42	287,42	305,96
540	2881,99	294,00	294,00	313,88
560	2944,96	300,53	300,53	321,80
580	3007,44	307,01		
600	3069,44	313,44		
620	3130,96	319,83		
640	3191,99	326,18		
660	3252,55	332,47		
680	3312,62	338,72		
700	3372,21	344,92		
720	3431,32	351,08		
740	3489,95	357,18		
750	3519,09	360,22		

Một số vấn đề ứng dụng. Các điện trở nhiệt kim loại được sử dụng cho những ứng dụng dân dụng khác nhau kể cả ô tô, các bộ điều hoà nhiệt độ, các đồ gia dụng nhỏ, bếp lò, máy lạnh tủ lạnh, điều hoà không khí, các loại lò nướng, và máy nấu nước nóng. Chúng cũng phổ biến trong các ứng dụng công nghiệp như điều khiển quá trình sản xuất, các mạch và các tổ hợp điện tử, máy in, máy vi tính xách tay, máy tính, bộ nguồn cung cấp, các hộp battery, đo nhiệt độ động cơ và ổ đĩa, vòng bi, HVAC, các thiết bị và các buồng thử nghiệm môi trường. Các ứng dụng y tế bao gồm bình hơi thở (oxy) *respiratory*, lồng ấp *incubator*, buồng cấy khuẩn *culture*, và buồng khử trùng *disposables*.

Phần tử cảm biến nên định vị ở chỗ mà nó có thể nhanh chóng đạt tới nhiệt độ của quá trình cần đo. Các điện trở dây cuốn phải được ghép chặt một cách tương ứng trong các ứng dụng có độ rung động và shock va đập cao. Các dây nối phần tử cảm biến với máy đo cho phép thực hiện phép đo từ xa với khoảng cách lớn.

Khi tích hợp RTDs thành các mạch đo, cần phải tính đến cả điện trở tiếp xúc. Đối với mỗi sự gia tăng $0,33\ \Omega$ do đường dây nối, thì sẽ tương ứng sai số $1^\circ C$.

Cũng cần phải lưu ý đến việc tiếp mass và hiện tượng phát nhiệt tự thân của dụng cụ trong ứng dụng. Bởi vì đó là linh kiện điện trở, chúng tạo nhiệt tự thân thêm vào nhiệt lượng cần đo. Bởi vì nhiệt độ đo tăng lên, điện trở của dụng cụ giảm xuống, hiệu ứng phát nhiệt tự thân sẽ tăng lên. Nếu vỏ mass và độ nhiệt dẫn có tác dụng, thì hiệu ứng này sẽ có thể bỏ qua. Tuy nhiên, yêu cầu về độ chính xác của toàn hệ đòi hỏi phải lưu ý tới việc này.

Dưới đây liệt kê một số ưu nhược điểm chính của các nhiệt điện trở kim loại RTDs.

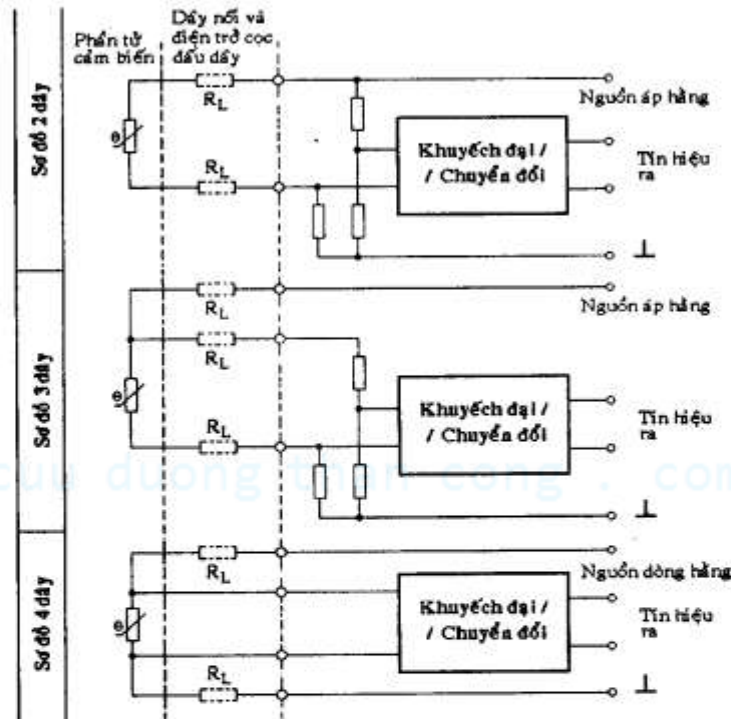
Ưu điểm:

- Rất chính xác và có tính lặp lại đặc tính kỹ thuật.
- Phạm vi nhiệt độ rộng từ -200 tới $+650^\circ C$ (-328 tới $+1202^\circ F$ tùy loại).
- Độ ổn định cực kỳ cao thời gian: độ trôi $>0,1^\circ C$ /năm.
- Tín hiệu điện áp ra lớn hơn loại nhiệt ngẫu.
- Độ tuyến tính điện trở tuyệt vời.
- Điện trở có thể xác định trong phòng thí nghiệm và sẽ không biến động đáng kể với thời gian.
- Có khả năng cảm biến nhiệt độ diện rộng hay nhiệt độ điểm.
- Có tính thay thế lắp lẫn tốt với biến động thấp.
- Có thể dùng cáp nối tiêu chuẩn để kết nối với thiết bị điều khiển.
- Đặc tính xuất xưởng phù hợp với đường cong điện trở.

Nhược điểm:

- Giá thành cao hơn thermistors và nhiệt ngẫu.

- Hiện tượng phát nhiệt tự thân có thể ảnh hưởng đến độ chính xác toàn phần của hệ.
- Kích thước lớn hơn thermistors và nhiệt ngẫu.
- Không lâu bền như cặp nhiệt ngẫu trong các môi trường rung động cao và va đập lớn.



Hình 3.8 – Các kiểu kết nối đầu đo nhiệt-điện-trở.

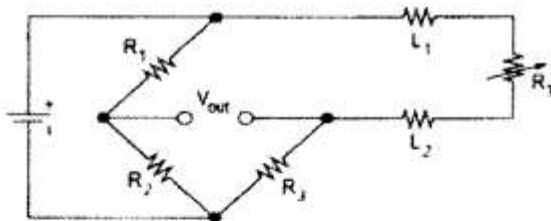
Đo nhiệt độ bằng nhiệt điện trở. Các dụng cụ đo thứ cấp của nhiệt kế điện trở thường là các cầu đo trở: cầu cân bằng, cầu lệch, logometer (cơ cấu đo từ-điện khung dây chéo) để chỉ thị trực tiếp thang đo nhiệt độ, hoặc máy tự ghi, hay trong các thiết bị tự động điều khiển, điều chỉnh.

Trong các phép đo nhiệt độ bằng các đầu dò nhiệt-điện-trở thì điện trở dây nối sẽ ảnh hưởng tới kết quả đo. Để khắc phục ảnh hưởng đó người ta sử dụng nhiều kiểu kết nối khác nhau (hình 3.8). Ở sơ đồ mạch nối hai dây thì mạch cầu đo tiếp nhận toàn bộ trở kháng của đầu

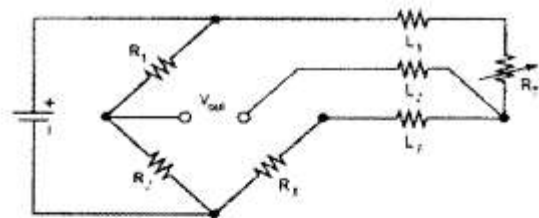
đo. Ảnh hưởng điện trở dây nối có thể được hiệu chỉnh bằng điện trở dây dẫn cân bằng không phụ thuộc nhiệt độ ở môi trường nhiệt độ không đổi. Sơ đồ nối mạch ba dây cho phép thực hiện phép đo ở khoảng cách xa từ đầu đo tới máy đo. Ảnh hưởng nhiệt độ lên đường dây nối sẽ bị giảm thiểu. Phép đo chính xác nhất được thực hiện theo sơ đồ bốn dây nối. Ở đây ảnh hưởng điện trở dây nối được khắc phục bởi tách biệt đường dẫn dòng và đường dẫn điện áp ra.

Trên cơ sở các kiểu kết nối mạch đo nhiệt điện trở như trên, có các dạng mạch ứng dụng cụ thể cho các RTDs dưới đây.

Mạch 2-dây. Mạch cầu Wheastone là cách tiếp cận thông dụng nhất để đo điện trở nhiệt kim loại RTD. Vì điện trở nhiệt tăng hay giảm theo nhiệt độ, nên tín hiệu điện áp ra V_{out} cũng tăng hay giảm. Dùng một mạch khuếch đại thuật toán Op-Amp để theo dõi V_{out} . Điện trở dây nối L_1 và L_2 được dẫn trực tiếp từ chân RTD của mạch cầu (hình 3.9).



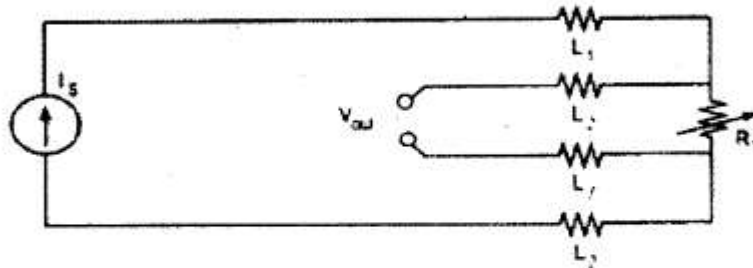
Hình 3.9 –
Mạch đo nhiệt độ 2-dây.



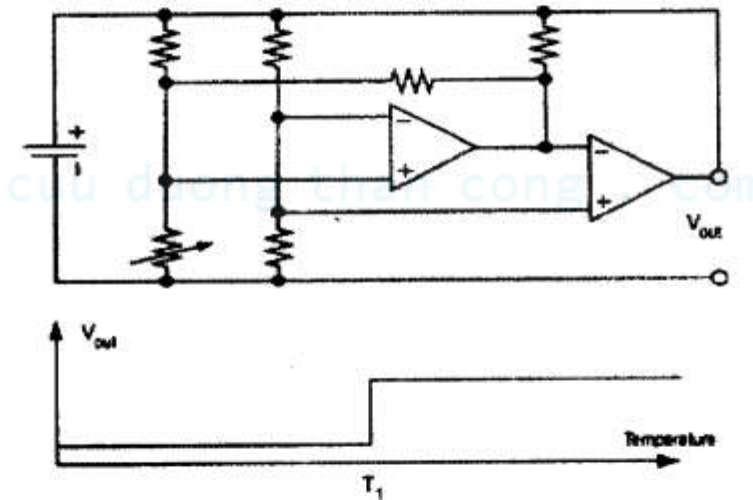
Hình 3.10 –
Mạch đo nhiệt độ 3-dây.

Mạch 3-dây. Trong cách tiếp cận này, L_1 và L_3 tải dòng điện cầu. Khi cầu cân bằng, không có dòng chạy qua L_2 , cho nên không thấy có điện trở dây L_2 . Cầu sẽ mất cân bằng khi điện trở nhiệt RTD thay đổi trị số. Dùng mạch Op-Amp để quan sát V_{out} và ngăn dòng chảy vào L_2 . Các hiệu ứng diễn ra ở L_1 và L_3 sẽ bị loại bỏ khi $L_1 = L_3$ bởi chúng nằm ở hai cạnh khác nhau của mạch cầu (hình 3.10).

Mạch 4-dây. Các tiếp cận mạch đo 4-dây dùng một nguồn dòng hằng để loại trừ các hiệu ứng dây dẫn thậm chí khi $L_1 \neq L_4$. Dùng mạch Op-Amp để quan sát V_{out} và ngăn dòng chảy vào L_2 và L_3 (hình 3.11).



Hình 3.11 – Mạch đo nhiệt độ 4-dây.

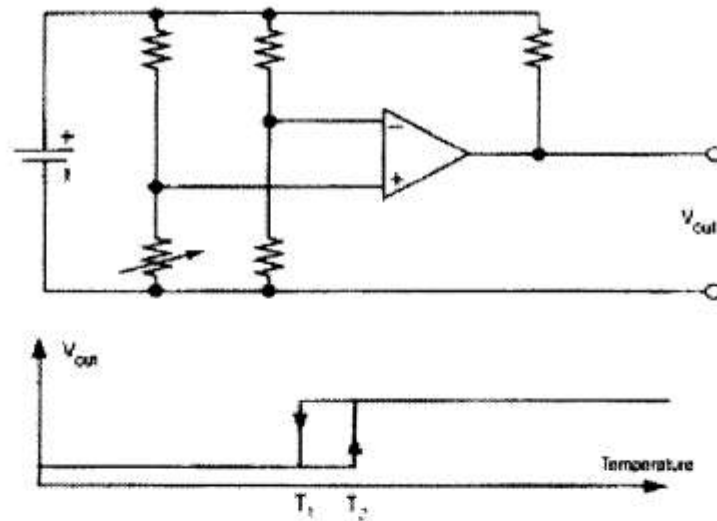


Hình 3.12 – Mạch đo nhiệt độ kiểu chuyển mạch.

Chuyển mạch nhiệt độ. Mạch đo hình 3.12 làm điện áp ra bị chốt lại khi nhiệt độ của RTD vượt quá một giá trị cố định T_1 . Đầu ra collector mở làm đơn giản hoá giao diện mạch với các bộ phận điện tử phụ trợ (hình 3.12).

Chuyển mạch nhiệt độ có trễ. Mạch điện hình 3.13 dùng mạch phản hồi dương từ đầu ra để làm phát nhiệt tự thân RTD đủ để phát triển một khoảng trễ trong đặc tính của chuyển mạch. Một khi mở

mạch, nhiệt độ phải rất xuống đủ thấp để định thiên offset tự phát nhiệt trước khi chuyển mạch mất hiệu lực (hình 3.13).



Hình 3.13 – Mạch đo nhiệt độ kiểu chuyển mạch có trễ.

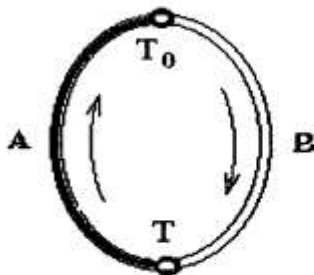
3.2.3 – Cặp nhiệt-ngẫu *Thermocouple*.

Nguyên lý hoạt động. Phần tử cảm biến theo nguyên lý nhiệt ngẫu có kết cấu đầu đo là cặp nhiệt-ngẫu, tạo ở đầu ra một nhiệt-điện-động (từ đây viết tắt là nhđđ. *thermoelectromotive force*) tùy thuộc tác động của nhiệt độ.

Nguyên lý nhiệt ngẫu dựa trên cơ sở hiệu ứng Seebeck (T. Seebeck, người Đức, 1770 – 1831): sự phát sinh thế-điện-động nhiệt-điện trong một mạch kín bao gồm các vật dẫn khác loại hàn nối với nhau và các mối hàn được giữ ở nhiệt độ khác nhau (hình 3.14). Mạch điện đó gọi là cặp nhiệt-ngẫu (*thermocouple*).

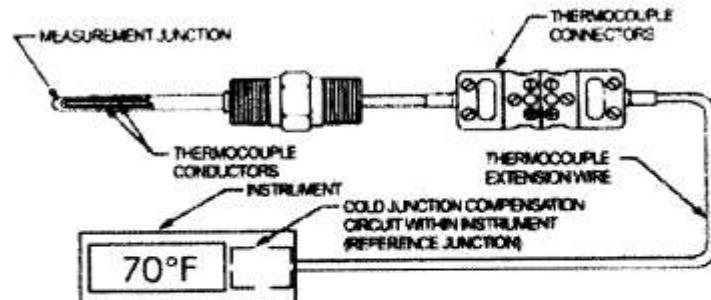
Mọi cặp nhiệt ngẫu đều có một mối nối được tham chiếu như là “đầu nóng” (hoặc gọi là đầu đo, đầu làm việc), và đầu nối kia là “đầu nguội” (đầu tham chiếu). Một đầu của nhiệt ngẫu (đầu đo) được đưa vào môi trường nhiệt độ cần đo, trong khi đầu kia được giữ ở một nhiệt độ biết trước – nhiệt độ tham chiếu (hình 3.15). Đầu nguội có thể hoặc là một tiếp giáp tham chiếu được giữ ở nhiệt độ 0°C (32°F), hoặc có

thể được mắc với một giao diện điện tử bù trừ nhiệt độ môi trường xung quanh.



Hình 3.14

Sơ đồ nguyên lý nhiệt ngẫu.



Hình 3.15

Cặp nhiệt ngẫu thermocoupler.

Khi hai đầu nối phải chịu những nhiệt độ khác nhau, thì dòng điện chạy trong các dây dẫn tỷ lệ với hiệu số nhiệt độ của chúng. Có thể xác định được nhiệt độ đầu đo một khi biết kiểu cặp nhiệt ngẫu sử dụng (vật liệu), độ lớn nhiệt điện động (thường tính bằng millivolt), và nhiệt độ của đầu tham chiếu.

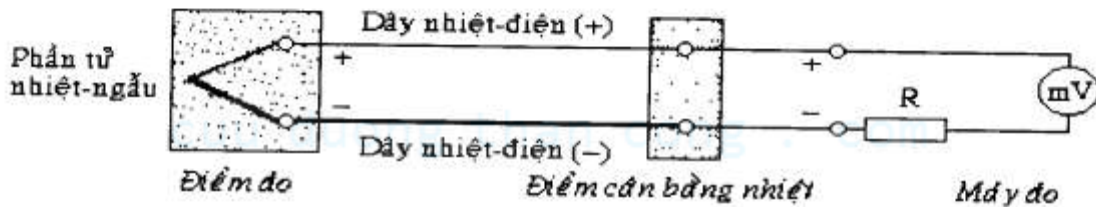
Các cặp nhiệt ngẫu được phân loại theo dạng hiệu chuẩn bởi điện áp (hay gọi tắt thế điện động EMF *electromotive force*) khác nhau của chúng, cũng tức là đặc tính đáp ứng nhiệt độ. Điện thế millivolt là hàm của hợp chất vật liệu và cấu trúc luyện kim điện dẫn của chúng. Trong thực tế ứng dụng, thường thì thay vì được ký hiệu bằng trị số ở một nhiệt độ đặc trưng (như Pt-100, Ni-100,...), các cặp nhiệt ngẫu được cho theo tiêu chuẩn hay theo các giới hạn đặc biệt sai số bao trùm một khoảng phạm vi nhiệt độ.

Nếu nhiệt độ đầu tự do được giữ ở nhiệt độ không đổi $T_0 = \text{const}$, thì nhđđ. trong mạch là hàm của nhiệt độ đầu kia, tức là đầu làm việc. Nhđđ. sẽ bằng 0 [V] nếu các đầu tự do và đầu làm việc có cùng nhiệt độ. Sai lệch nhiệt độ giữa đầu làm việc T và đầu tự do T_0 mà càng lớn thì nhđđ. U_{thm} sinh ra trong mạch sẽ càng lớn:

$$U_{thm} = k.(T - T_0) = k.\Delta T; \quad (3.12)$$

ở đây: U_{thm} – nhđđ. của phần tử nhiệt-điện; T – nhiệt độ đầu làm việc (ở điểm đo); T_0 – nhiệt độ đầu tự do (nhiệt độ tham chiếu ở điểm cân bằng); k – hằng số vật liệu, phụ thuộc bản chất dây nhiệt-điện.

Hằng số vật liệu k nói chung là hệ số phụ thuộc nhiệt độ, cho nên đặc tuyến biến thiên của nhđđ. không hoàn toàn tuyến tính. Hơn nữa, nhđđ. phụ thuộc vào chênh lệch nhiệt độ điểm đo và điểm cân bằng, do đó phải biết trước nhiệt độ đầu tự do ở điểm cân bằng và phải giữ cho nó không đổi trong suốt thời gian đo (dùng làm nhiệt độ tham chiếu). Khi đó, phép đo nhiệt độ đơn thuần chỉ là một phép đo điện áp.



Hình 3.16 – Nguyên lý đo nhiệt độ bằng cặp nhiệt-ngẫu.

Hình 3.16 giới thiệu nguyên lý sơ đồ phép đo nhiệt độ bằng phần tử nhiệt-ngẫu trong phạm vi $(-200 \div +1800) [^{\circ}C]$. Ưu điểm của sơ đồ này là không cần có thêm nguồn điện phụ nào (do đó cặp nhiệt ngẫu được coi là phần tử tích cực, khác với nhiệt điện trở – phần tử thụ động, làm việc với mạch nguồn cung cấp từ ngoài).

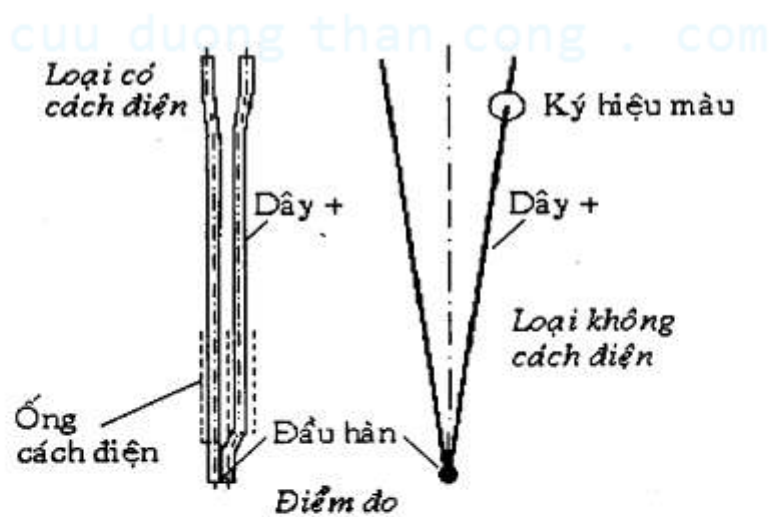
Phạm vi nhiệt độ làm việc của các phần tử nhiệt-ngẫu chủ yếu tùy thuộc ở vật liệu nhiệt-điện. Để có được độ chính xác cao, cần lưu ý đến độ tuyến tính và tính năng tái lập đặc tuyến của phần tử.

Phân loại và đặc điểm ứng dụng. Trong ứng dụng kỹ thuật, phổ biến các cặp nhiệt ngẫu sau:

- Platin–PlatinoRhodi (90% Pt, 10% Rh) – điện cực là kim loại quý, độ chính xác cao ($10^{-3} [mV]$), độ bền hoá học cao, thường

dùng làm cặp nhiệt mẫu để kiểm chuẩn các nhiệt-ngẫu thực nghiệm, sử dụng đo nhiệt độ cao (chế độ làm việc lâu bền: 1300 [°C], đo nhanh: 1600 [°C]). Tuy có độ chính xác cao nhất và tính ổn nhiệt cao, nhưng so với những cặp nhiệt-ngẫu khác thì PtRh-Pt có giá trị nhđđ. nhỏ hơn, tức là mức tín hiệu đầu ra nhỏ. Ngày nay có những chế phẩm gốc platin dùng ở nhiệt độ đo cao hơn.

- Cromen–Alumen, làm việc bền vững trong môi trường kiềm, khá bền trong môi trường axit, đo nhiệt độ từ -50 [°C] tới 1100 [°C], đo nhanh có thể tới 1300 [°C];
- Cromen–Copen, làm việc bền trong cả môi trường kiềm và axit, đo nhiệt độ từ -50 [°C] tới 600 [°C], đo nhanh có thể tới 800 [°C].
- Nickel–Nichrom Ni-NiCr có thể làm việc tới 1000 [°C].



Hình 3.17 – Cấu trúc nhiệt-ngẫu.

Ngoài ra còn có: (đồng) Cu–Constantan (nay không dùng nữa). (sắt) Fe–Constantan có nhiệt-điện-động cao, và Fe–Copen.

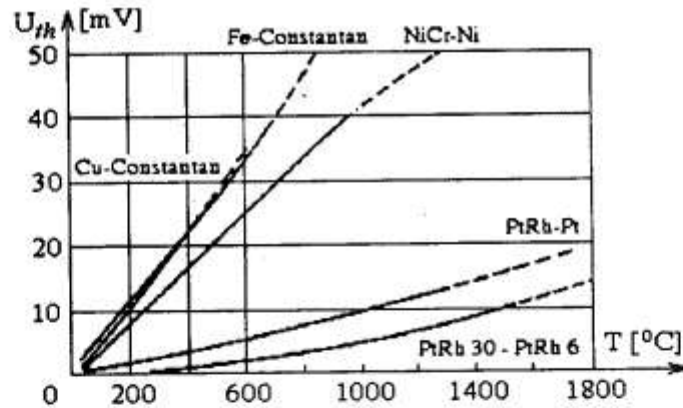
Dây nhiệt-ngẫu có tiết diện nhỏ, do đó điểm đo có độ dẫn nhiệt nhỏ, có thể thực hiện phép đo nhiệt độ điểm. Cấu trúc phần tử nhiệt-ngẫu giới thiệu trong hình 3.17.

Bảng 3.6 kê thông số các loại nhiệt-ngẫu thông dụng trong kỹ thuật. Đối với các loại dây nhiệt-ngẫu thì phải đáp ứng những yêu cầu đòi hỏi về tính chất, thành phần vật liệu. Trong bảng có nêu những dữ liệu đó.

Bảng 3.6 – Thông số kỹ thuật chủ yếu của cặp nhiệt-ngẫu.

Loại nhiệt-ngẫu	Phạm vi l.việc $T_{max} [^{\circ}C]$		Dây nhiệt-điện	Cực tính	Vật liệu	Phụ liệu
	Lâu	Ngắn				
Cu-Constantan	700	900	Đồng Constantan	(+) (-)	Đồng điện phân 100%. Cu 53%, Ni 45%, Mn 1,2%.	- Al, Si, Co, Mg.
Fe-Constantan	700	900	Sắt Constantan	(+) (-)	Sắt kỹ thuật, nguyên chất, pha <0,1% (S, Si, Mn, C). Cu 53%, Ni 45%, Mn 1,2%.	Al, Si, Co, Mg.
NiCr-Ni	1000	1300	Nickel Chrom Nickel	(+) (-)	Ni 89%, Cr 10%. Ni 95%, Mn 3%, Al 2%.	Si, Al. Mg, Co.
PtRh-Pt	1500	1800	PlatinRhodium Platin	(+) (-)	Pt 90%, Rh 10%. Pt 100% nguyên chất.	
PtRh 30-PtRh 6	1500	1800	PlatinRhodium Platin	(+) (-)	Pt 70%, Rh 30%. Pt 94%, Rh 6%.	

cuu duong than cong . com



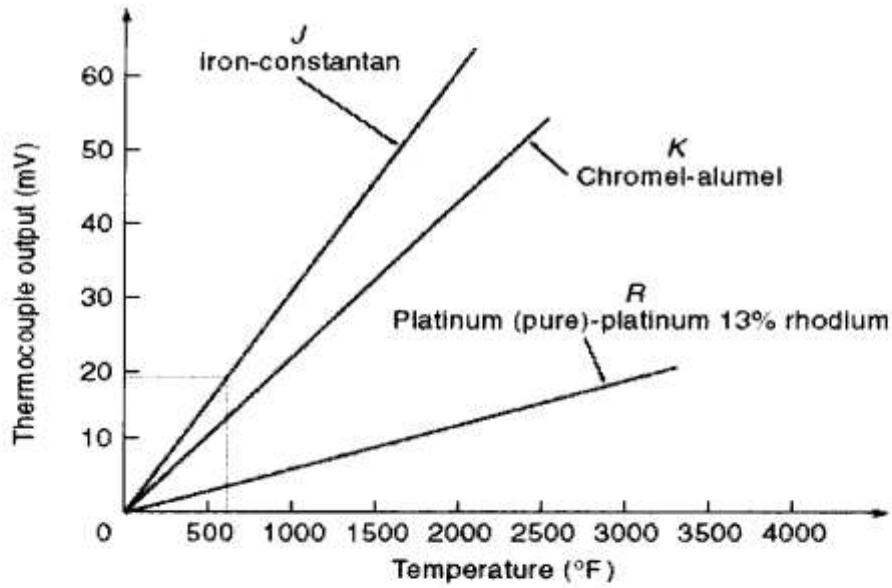
Hình 3.18 – Đặc tuyến của các phần tử nhiệt-ngẫu.

Bên cạnh đó, đặc tuyến của các cặp nhiệt-ngẫu có độ phi tuyến trong phạm vi nhiệt độ rộng, điều này có thể nhận thấy trên hình 3.18. Phải khắc phục độ phi tuyến bằng biện pháp hoàn thiện thiết bị hay xử lý tín hiệu để có thể đạt độ chính xác cao.

Bằng cách ứng dụng những tổ hợp vật liệu khác nhau cho ra tín hiệu điện áp cao hơn ứng với hiệu nhiệt độ, chúng cho tín hiệu phù hợp với đường cong đặc tuyến điện áp gần tuyến tính. Điều đó làm cho các nhiệt ngẫu giao tiếp đơn giản hơn với bộ phận chỉ thị hay điều khiển controller.

Các cặp nhiệt ngẫu thương mại có sẵn với những phạm vi nhiệt độ và độ nhạy khác nhau (độ nhạy được đo bằng $V/độ$). Hình 3.19 giới thiệu đặc tuyến điện áp theo nhiệt độ của các kiểu *class* nhiệt ngẫu thương mại có sẵn trên thị trường. Như ta có thể thấy, kiểu J (Fe-Constantan) có độ nhạy cao nhất, nhưng phạm vi nhiệt độ đo thấp nhất; kiểu K (Chromel-Alumel) có phạm vi nhiệt độ đo cao hơn nhưng độ nhạy thấp hơn; và kiểu R (Platinum-Rhodium) có độ nhạy thậm chí còn thấp hơn nữa, nhưng có thể làm việc ở những nhiệt độ cao.

Các bảng tra có sẵn cho quan hệ điện áp – nhiệt độ của cặp nhiệt ngẫu chính xác (ở cả hai thang nhiệt độ $^{\circ}C$ và $^{\circ}F$).

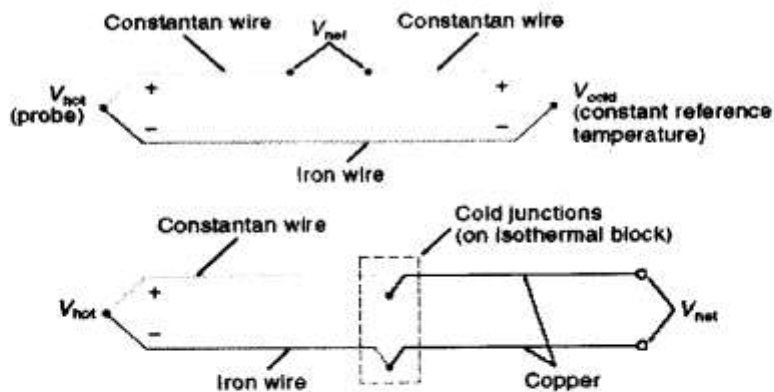


Hình 3.19 – Đầu ra thermocouples ứng với các kiểu dây nhiệt ngẫu (tham chiếu $0^{\circ}C$).

Các cặp nhiệt ngẫu có kết cấu đơn giản và thô nhưng đòi hỏi phải có những bộ phận điện tử để giải quyết những thuộc tính vốn có của chúng như độ nhạy thấp và các vấn đề nhiệt độ tiếp giáp nguội. Tuy nhiên, bởi là những cảm biến nhiệt khá tuyến tính (trong một phạm vi giới hạn), an toàn tin cậy, và ổn định, chúng vẫn chiếm được ứng dụng rộng rãi trong các phép đo nhiệt độ cao, nhất là trong các lò luyện kim và lò nung.

Ví dụ 3.1. Giả thiết có một lò nung được giữ ở $1000[^{\circ}F]$ bằng một hệ điều khiển, nhưng có khả năng đáng ngờ là nhiệt độ có thể còn thấp hơn mức đó nhiều. Ta có trong tay một cặp nhiệt ngẫu kiểu J và một volt-kế. Làm sao có thể dùng các thiết bị này để kiểm tra nhiệt độ lò nung ?

Trước khi đi vào giải bài toán lấy làm ví dụ này, ta hãy khảo sát trường hợp một cặp nhiệt ngẫu Fe-Constantan (làm từ sắt và constantan, hợp kim của đồng, nickel và mangan) tạo ra điện áp xấp xỉ $35 [\mu V/^{\circ}C]$. Hình 3.20a minh họa trường hợp này.



Hình 3.20 – Mạch nhiệt ngẫu (loại Fe-Constantan): a). Nguyên lý;
b). Cặp nhiệt ngẫu mắc mạch với dây nối bằng đồng.

Ta có thể nghĩ về các tiếp giáp ở mỗi đầu dây kim loại khác nhau khi tạo ra điện áp, cho nên điện áp toàn phần V_{net} thực sự là hiệu số giữa hai điện áp tiếp giáp. Một tiếp giáp ở trên đầu đo và được gọi là “đầu nóng”. Tiếp giáp kia được giữ ở một nhiệt độ tham chiếu biết trước và được gọi là “đầu nguội”, hoặc là tiếp giáp tham chiếu. Điện áp ra từ hệ này có thể được biểu diễn như sau:

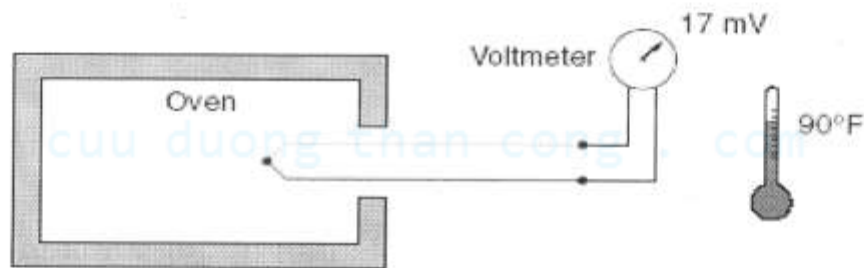
$$V_{net} = V_{hot} - V_{cold} \quad (3.13)$$

Trong thực tế, các dây nhiệt ngẫu phải nối với những dây đồng ở điểm nào đó như vẽ trên hình 3.20b, cho nên thực tế có ba tiếp giáp. Tuy nhiên, thực ra là điện áp toàn phần từ hai tiếp giáp dây đồng cũng giống như điện áp tiếp giáp nguội đơn V_{cold} trong hình 3.20a (giả thiết rằng các tiếp giáp đồng ở cùng nhiệt độ), cho nên phân tích trên không có gì thay đổi.

Giải. Trước tiên, hãy đưa cặp nhiệt ngẫu vào lò và nối các dây dẫn ra của cặp nhiệt ngẫu với volt-kế (hình 3.21). Hãy ráng làm sao cho các tiếp giáp nguội của cặp nhiệt ngẫu nối với các đầu dây máy đo ở cùng một nhiệt độ của môi trường xung quanh, nó khoảng $90[^\circ F]$ (như chỉ thị của nhiệt kế treo trên tường).

Volt-kế chỉ thị khoảng $17[mV]$, mà theo biểu thức (3.13) đó là giá trị của V_{net} . Trên đồ thị hình 3.19 (đối với nhiệt ngẫu kiểu J) được lập cho trường hợp tiếp giáp nguội ở nhiệt độ đóng băng ($0^{\circ}C$), không hoàn toàn đúng như trường hợp này. Từ đồ thị ta thấy rằng $90^{\circ}F$ sẽ cho ra khoảng $2,0[mV]$. Ta có thấy từ biểu thức (3.13) rằng nếu V_{cold} tăng lên thì sẽ giảm V_{net} , cho nên nếu ta định dùng đồ thị hình 3.19 thì phải bù trừ bằng cách tăng chỉ số đo của ta từ $17[mV]$ lên $19[mV]$.

Bây giờ dùng đồ thị hình 3.19 đối với $19[mV]$ ta đọc nhiệt độ tương ứng là $660[^{\circ}F]$. Như vậy, nhiệt độ thấp hơn mức $1000[^{\circ}F]$ nhiều, cho nên rõ ràng là có vấn đề gì hư hỏng trong hệ điều khiển nhiệt độ.



Hình 3.21 – Đo nhiệt độ lò nung bằng cặp nhiệt ngẫu (ví dụ 3.1).

Dây nối nhiệt-ngẫu. Dây nhiệt-ngẫu của phần tử nhiệt-điện thường có đầu nối dẫn ra ngay cạnh điểm đo, và như vậy có sự cần thiết phải nối dài dây dẫn tới máy đo. Dây dẫn nối dài này cũng phải làm từ vật liệu cùng loại với dây nhiệt-ngẫu. Đoạn dây nối này có những yêu cầu nhất định, bởi nếu không chúng sẽ tạo ra hiệu ứng nhiệt-điện như bản thân phần tử nhiệt-ngẫu, gây sai số đo. Trên các sơ đồ nối dây thì đoạn dây nối này được gọi là dây cân bằng nhiệt. Các dây cân bằng nhiệt này được làm từ dây đơn hay cặp đôi hoặc cặp nhiều sợi, có cách điện tương ứng. Để dễ phân biệt khi ráp nối giữa dây nhiệt-ngẫu và dây nối cân bằng nhiệt, chúng có ký hiệu màu (bảng 3.7).

Bảng 3.7 – Ký hiệu màu của cặp nhiệt-ngẫu.

Cặp nhiệt-điện	Màu dây nhiệt-điện	Ký hiệu loại	Màu dây nối cân bằng nhiệt
Cu-Constantan	Nâu	Typ T	Nâu
Fe-Constantan	Xanh da trời	Typ J	Xanh da trời
Ni-NiCr	Xanh lá cây	Typ K	Xanh lá cây
Pt-PtRh	Trắng	Typ S	Trắng

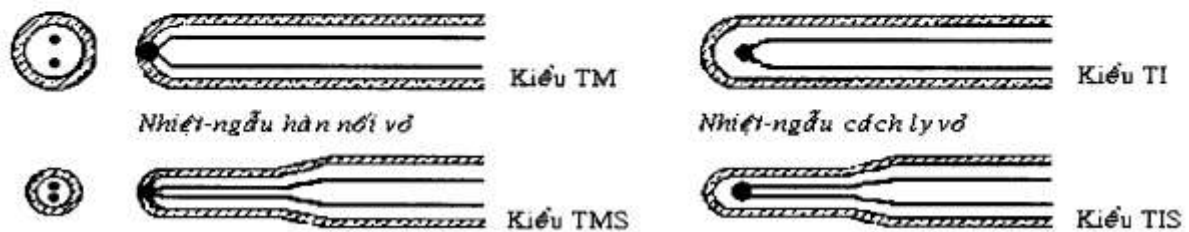
Cực tính dương (+) ở dây nhiệt-ngẫu hay dây nối đều được ký hiệu màu đỏ. Điểm cuối các đầu dây nối cân bằng nhiệt (gọi là điểm cân bằng nhiệt) được nối vào thiết bị đo thứ cấp (hoặc tới máy đo hoặc tới đầu vào mạch khuếch đại tín hiệu). Đoạn dây nối tới thiết bị thứ cấp này không là vấn đề nữa, có thể chỉ là dây đồng, bởi ở đoạn xa điểm đo (từ điểm cân bằng nhiệt trở ra) nhiệt độ đã có thể coi là như nhau.

Thời gian đáp ứng. Cũng như đối với các phần tử nhiệt-điện-trở RTDs, thời gian đáp ứng của các phần tử nhiệt-ngẫu phụ thuộc vào kết cấu của chúng. Khi phải hiện diện trong môi trường ăn mòn hay oxide hoá mạnh, phần tử nhiệt ngẫu phải được bảo vệ bởi nguồn điều nhiệt *thermowell*, có vỏ thép không rỉ, và cáp bọc điện khoáng chất.

Hình 3.22 giới thiệu cấu trúc các dạng kết cấu phần tử nhiệt ngẫu có vỏ bọc. Các cặp nhiệt ngẫu được chế xuất với ba kiểu mối nối khác nhau:

- Mối nối để trần. Đầu cảm biến gồm hai dây vật liệu khác nhau được hàn nối với nhau, tạo thành “đầu nóng”. Dạng này có thời gian đáp ứng nhanh nhất trong số ba dạng.
- Mối nối tiếp đất. Đầu nóng được hàn vào mặt trong của lớp vỏ kim loại bảo vệ (hình 3.22, kiểu TM, TMS). Việc này bảo vệ được mối nối nhưng lại ảnh hưởng đến đáp ứng nhiệt. Nó cũng làm cho dụng cụ nhạy cảm hơn với nhiễu giao thoa điện từ EMI (*electromagnetic interference*).

- Mối nối không tiếp đất (hình 3.22, kiểu TI, TIS). Đầu nóng được cách điện với lớp vỏ kim loại bảo vệ bằng vật liệu nhiệt dẫn. Việc này làm tăng tính năng tiếp nhiệt nhưng cách ly mối nối khỏi nhiễu giao thoa điện từ EMI.



Hình 3.22 – Dạng kết cấu của phần tử nhiệt-ngẫu có vỏ bọc (hãng Philips).

Cặp nhiệt-ngẫu trần, tức là phần tử nhiệt-ngẫu chỉ gồm hai dây không vỏ bọc, là loại có đáp ứng nhanh nhất. Khi cho vào vỏ bọc bảo vệ, thì thời gian đáp ứng sẽ kéo dài hơn. Để giới hạn ảnh hưởng này, tiết diện vỏ bọc đầu dò ở gần điểm đo được làm bé hơn (kiểu TMS, TIS trong hình 3.22). Tiếp xúc nhiệt càng tốt (giữa môi trường đo và đầu hàn của cặp nhiệt-ngẫu) thì thời gian đáp ứng sẽ càng giảm; cho nên có kiểu đầu hàn của cặp nhiệt-ngẫu được gắn trực tiếp với vỏ (kiểu TM, TMS). Tuy nhiên, trong nhiều trường hợp, đầu hàn có thể chịu ảnh hưởng qua lại với môi trường đo, nên lại phải có cách ly với vỏ.

Các đầu nóng dễ hở nhạy với oxy hoá và ăn mòn. Chúng có thể được bảo vệ bằng cách dùng nguồn điều nhiệt thermowells hoặc lớp vỏ bọc bằng thép không rỉ ở cả hai dạng có tiếp đất hay không tiếp đất. Tuy nhiên, điều này có thể ảnh hưởng nghiêm trọng tới độ chính xác của hệ. Đầu nóng tiếp đất sẽ bảo vệ cảm biến, tuy nhiên nó sẽ làm tăng thời gian đáp ứng nhiệt và làm cảm biến nhạy cảm hơn với nhiễu giao thoa EMI. Nó cũng làm tăng sai số bức xạ và sai số điện dẫn.

Đầu nối không tiếp đất cũng sẽ bảo vệ cảm biến. Tuy nhiên, bởi vì cảm biến được cách điện khỏi nguồn điều nhiệt hay vỏ bọc, ảnh hưởng của nhiễu giao thoa điện-từ ít hơn nhiều. Sự thất thiệt ở mẫu thiết kế này là sai số điện dẫn và sai số bức xạ thậm chí còn lớn hơn và đáp ứng chậm hơn nhiều.

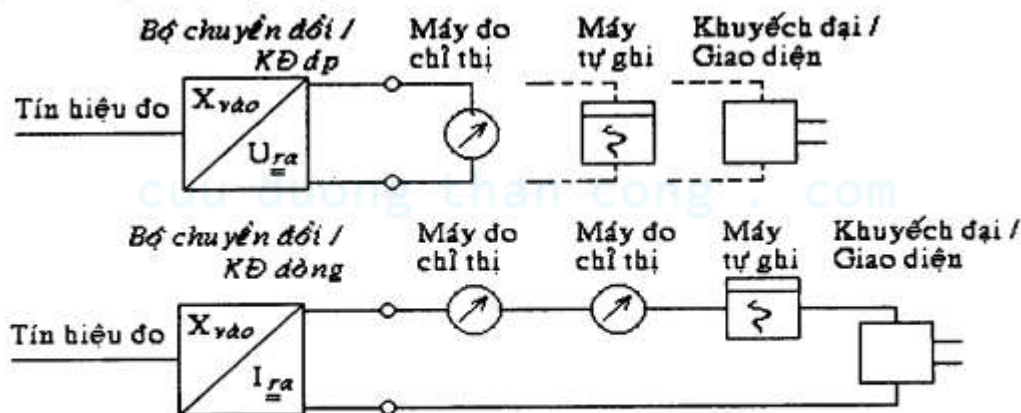
Đo nhiệt độ bằng nhiệt ngẫu. Trong kỹ thuật đo nhiệt độ bằng phần tử nhiệt-ngẫu có những phương pháp đo khác nhau:

- Phép đo đánh giá (chỉ thị) trực tiếp;
- Phép đo có khuếch đại;
- Phép đo theo phương pháp bù.

Trên thực tế, phổ biến phương pháp đánh giá trực tiếp với cơ cấu đo từ-điện khung dây quay, dùng đặc dụng cho từng loại cặp nhiệt-ngẫu, thang đo chỉ thị millivolt [mV] hoặc khắc vạch theo nhiệt độ cho đúng loại cặp nhiệt-ngẫu đó. Dụng cụ thứ cấp đo nhđđ. của cặp nhiệt ngẫu thường là:

- Millivolt-kế từ-điện;
- Điện thế kế galvanometer.

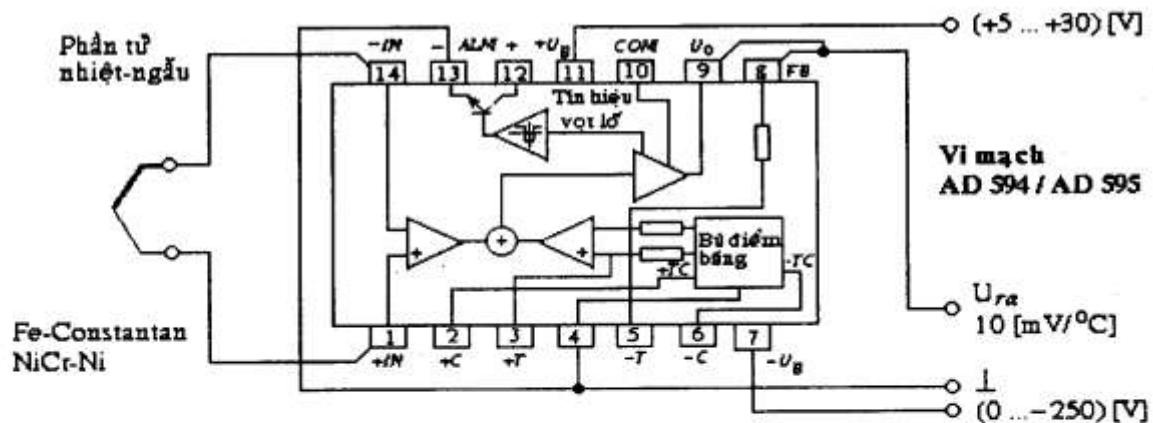
Máy đo không chỉ đòi hỏi đáp ứng độ chính xác phép đo mà còn phải có nội trở đủ lớn để không làm quá tải phân dòng ở phần tử cặp nhiệt-điện; cho nên cũng không được mắc thêm máy đo thứ hai song song vào mạch nhiệt-ngẫu.



Hình 3.23 – Phép đo dùng mạch khuếch đại đo lường.

Phương pháp đo có ứng dụng mạch khuếch đại cho phép thực hiện phép đo nhiệt độ bằng cặp nhiệt-ngẫu không phụ thuộc vào độ dài của đường dây dẫn và thiết bị đo thứ cấp. Tín hiệu đo không chỉ được khuếch đại lên mà còn được gia công tương ứng mức tín hiệu chuẩn hoá. Và như vậy, việc chuẩn hoá tín hiệu trong hệ đo lường–điều khiển xa cũng không là vấn đề nữa. Hình 3.23 vẽ sơ đồ nguyên lý các phép đo dùng mạch khuếch đại đo lường. Trong các mạch khuếch đại đo lường, còn có mạch bù tự động. Ngoài ra, chúng còn có những giải pháp mạch để tuyến tính hoá đặc tuyến phần tử nhiệt-ngẫu.

Nhiệt độ điểm cân bằng nhiệt. Việc xác định nhiệt độ bằng cặp nhiệt-ngẫu luôn luôn kéo theo vấn đề nhiệt độ điểm cân bằng, tức nhiệt độ đầu nguội (đầu tự do). Trong thực tế, nhiệt độ này khoảng 20 [°C] (nhiệt độ trong phòng). Trước đây, để phép đo chính xác hơn, người ta giữ nhiệt độ điểm cân bằng nhiệt ở 0 [°C] – nhiệt độ nước đá tan, như là nguồn nhiệt độ tham chiếu. Cũng có thể dùng bộ ổn nhiệt *thermostater* để giữ nhiệt độ điểm cân bằng ở một mức nhất định biết trước. Song ngày nay chủ yếu sử dụng bộ bù tự động nhiệt độ đầu nguội của cặp nhiệt-ngẫu. Ví dụ điển hình là vi mạch khuếch đại AD 594 / AD 595 dùng cho phần tử nhiệt-điện Fe-Constantan (kiểu J) phạm vi đo (-200 ÷ +750) [°C], hay Ni-NiCr (kiểu K) trong phạm vi (-200 ÷ +1250) [°C]. Điện áp ra (đối với cả hai kiểu) là 10 [mV/°C]. Điện trở đầu ra nhỏ. Điện áp cung cấp là $U_B = +5$ [V], thậm chí có thể là ± 15 [V]. Độ chính xác đạt tới 1 độ, có mạch bù nhiệt độ điểm cân bằng ở 0 [°C]. Có mạch báo động đứt mạch nhiệt-ngẫu. Tuy nhiên, không có tuyến tính hoá đặc tuyến phần tử nhiệt-ngẫu. Hình 3.24 giới thiệu một sơ đồ ứng dụng đơn giản.



Hình 3.24 – Khuyếch đại đo lường AD 594 / AD 595 (hãng Analog Devices).

Thông thường, tiếp giáp nguội được giữ ở 0°C (32°F) trong một bình chứa nước đá, tức là có nước và đá đang tan. Nước đá được dùng bởi vì đó là một cách để tạo ra nhiệt độ biết trước, và cho nên V_{cold} trở thành hằng số trong biểu thức (3.13), dẫn tới quan hệ trực tiếp giữa V_{net} và V_{hot} :

$$V_{hot} = V_{net} + const.; \quad (3.14)$$

ở đây số hạng $const.$ là giá trị $V_{cold} = const.$ ở 0°C (32°F) hay một nhiệt độ tham chiếu nào đó biết trước.

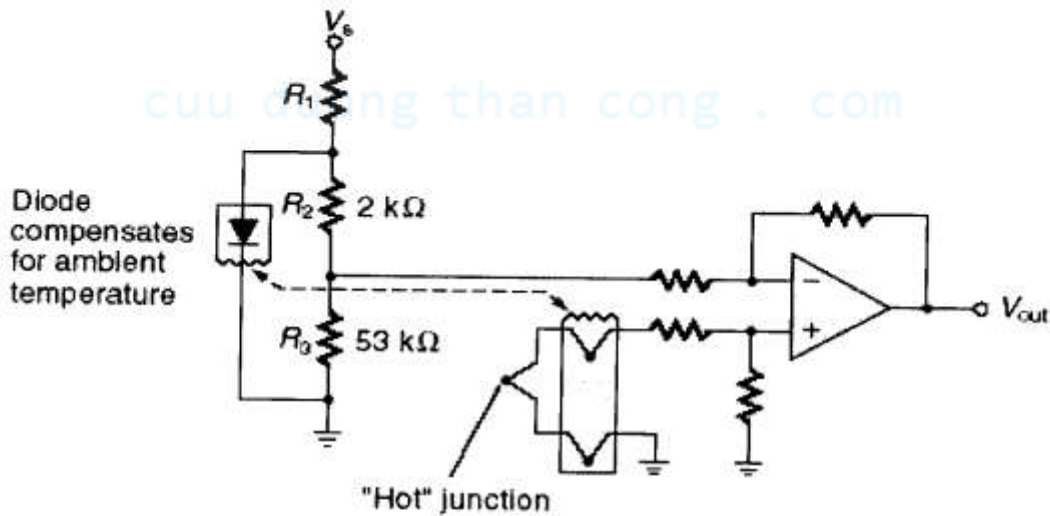
Các hệ thống hiện đại hạn chế nhu cầu sử dụng nước đá tan. Một phương pháp giữ tiếp giáp nguội ở nhiệt độ không đổi bằng một hệ điều khiển. Điều này rất có lợi khi trong hệ có nhiều cặp nhiệt ngẫu – chúng có thể được tham chiếu tới cùng một nhiệt độ.

Phương pháp khác (được dùng bởi bộ vi điều khiển máy tính) đơn giản là tra bảng (được lưu trong bộ nhớ vi tính) trị số V_{cold} đối với nhiệt độ môi trường chung quanh và cộng nó vào với V_{net} để tìm ra V_{hot} .

Còn cách khác để hạn chế việc sử dụng bình nước đá tan là sử dụng một diode nhạy nhiệt độ (trong một mạch điện giao diện) làm

cho đầu ra của cặp nhiệt ngẫu có tính chất như thể tiếp giáp nguội vẫn ở nhiệt độ đóng băng, mặc dù không phải thế. Hình 3.25 giới thiệu một mạch như vậy dùng cho cặp nhiệt ngẫu Fe-Constantan. Các tiếp giáp nguội được giữ ở cùng nhiệt độ như nhiệt độ diode bằng cách lắp ráp tất cả chúng vào một khối đẳng nhiệt *isothermal*. Khi nhiệt độ môi trường tăng lên, điện áp thuận rơi trên diode (khoảng 0,6 [V]) giảm xuống với tỷ lệ khoảng 1,1 [mV/°C].

Điện áp này được phân áp (bằng R_2 và R_3) xuống cỡ 28[$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$], đó chính là tỷ lệ mà điện áp tiếp giáp nguội thực tế tăng lên theo nhiệt độ môi trường. Bằng cách trừ (bởi một khuếch đại thuật toán op-amp) hiệu ứng thay đổi nhiệt độ môi trường lên tiếp giáp nguội, ta nhận được điện áp nhiệt ngẫu đơn thuần tỷ lệ thuận với nhiệt độ đo.



Hình 3.25 – Bù điện áp tiếp giáp nguội bằng diode.

Một số sai số cơ bản khi đo nhiệt độ bằng cặp nhiệt ngẫu.

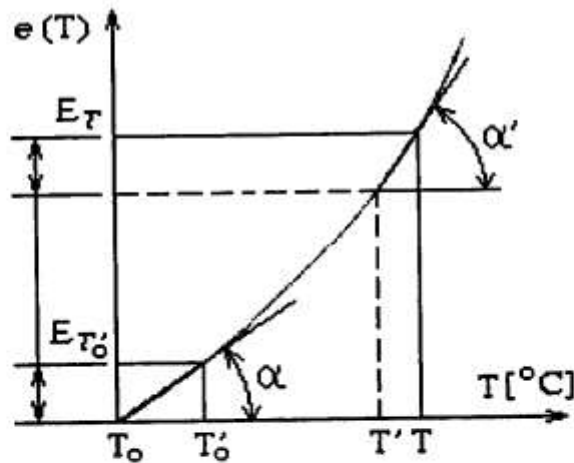
- Sai số do giá đặt đầu làm việc không hợp lý, không đủ sâu trong môi trường nhiệt độ cần đo (thường thì khoảng 100 [mm]), gần nguồn lạnh, đặt dọc dòng lưu thông nhiệt của môi trường đo, gần bề mặt bức xạ, ...

- Nhiệt độ đầu tự do (đầu nguội) bị thay đổi (so với nhiệt độ tham chiếu của cặp nhiệt-ngẫu);
- Do thay đổi điện trở phần dây nối, dây bù, ...;
- Do thay đổi, dao động nhiệt độ môi trường ngoài.

Khắc phục sai số do thay đổi nhiệt độ đầu tự do.

Giả sử máy đo được khắc vạch trực tiếp theo nhiệt độ với giá trị nhiệt độ đầu tự do (nhiệt độ tham chiếu) là $T_0 = 0 [^{\circ}C]$, tức là vạch chỉ thị của millivolt-kế ứng với trị số nhđđ. cho trong bảng 3.6, và cặp nhiệt-ngẫu là Fe-Constantan có đặc tuyến phụ thuộc nhiệt độ hình 3.26.

Nếu nhiệt độ môi trường đo (đầu làm việc) là $T = 600 [^{\circ}C]$, khi đó nhđđ. của cặp nhiệt-ngẫu ở nhiệt độ T là $E_T(T, T_0) = E_T(600, 0) = 33,096 [mV]$. Nếu đầu tự do có nhiệt độ lớn hơn nhiệt độ tham chiếu ($T'_0 > T_0$), giả sử $T'_0 = 25 [^{\circ}C]$, thì nhđđ. ứng với điểm T'_0 sẽ bằng $E_{T'_0}(T'_0, T_0) = 1,293 [mV]$.



Hình 3.26 – Đặc tuyến nhiệt-ngẫu và nhiệt độ đầu tự do.

Như vậy nhđđ. đo được $E'_T(T, T'_0)$ sẽ là:

$$\begin{aligned}
 E'_T(T, T'_0) &= E_T(T, T_0) - E_{T'_0}(T'_0, T_0) \\
 &= (33,096 - 1,293) = 31,803 [mV]; \quad (3.15)
 \end{aligned}$$

tức là nhỏ hơn nhđđ. thực E_T , bởi khi đó hiệu nhiệt độ hai đầu nhiệt-ngẫu là $\Delta T' = (T - T_0')$ sẽ nhỏ hơn $\Delta T = (T - T_0)$, (xem biểu thức (3.9)-). Nhiệt độ ứng với trị số nhđđ. $E_T(T, T_0')$ sẽ là $T' \neq T$, đó là bởi sai số do thay đổi nhiệt độ tham chiếu (nhiệt độ đầu tự do).

Tức là khi đó nhđđ. thực sẽ bằng:

$$E(T, T_0) = E(T', T_0) + E(T_0', T_0); \quad (3.16)$$

Nếu bộ chỉ thị được khắc độ theo nhiệt độ thì:

$$(T_0' - T_0) \tan \alpha = (T - T') \tan \alpha'; \quad (3.17)$$

$$(T - T') = (T_0' - T_0) \cdot \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha'} = K \cdot (T_0' - T_0); \quad (3.18)$$

ở đây, K – hệ số bù nhiệt độ:

$$K = \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha'}. \quad (3.19)$$

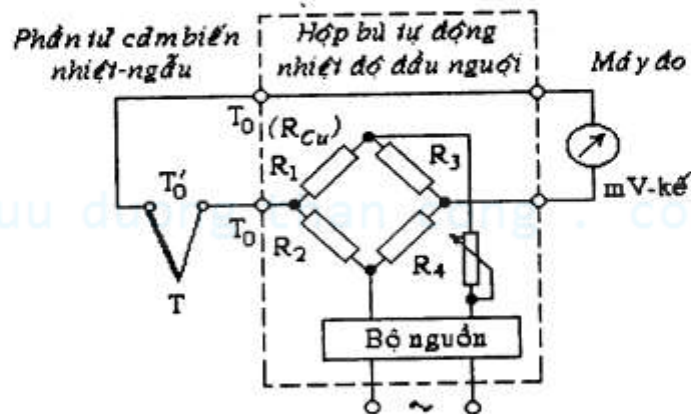
Điều này có nghĩa là sai lệch nhiệt độ đo do thay đổi nhiệt độ tham chiếu tỷ lệ với sự thay đổi đó theo hệ số bù K .

Bởi nhđđ. của nhiệt-ngẫu phụ thuộc vào chênh lệch nhiệt độ điểm đo và điểm cân bằng nhiệt, cho nên trong thực tế ứng dụng thường người ta phải xác định thêm nhiệt độ đầu tự do ở điểm cân bằng nhiệt và phải giữ cho nó không đổi trong suốt thời gian đo (xem hình 3.16 – nguyên lý sơ đồ phép đo nhiệt độ bằng phần tử nhiệt-ngẫu), hoặc tạo cho điểm cân bằng nhiệt có nhiệt độ tham chiếu $T_0 = 0 [C]$. Khi đó, phép đo nhiệt độ có thể dùng một máy đo điện áp đơn thuần thực hiện phép đo nhđđ. của nhiệt-ngẫu. Với mỗi loại cặp nhiệt-ngẫu sẽ xây dựng một hệ số K để tiện lợi khi khắc vạch máy đo chỉ thị trực tiếp nhiệt độ, ví dụ với cặp nhiệt ngẫu Pt-PtRh (Platin-PlatinoRhodi) $K = (0,5 - 6)$; Cr-Al (Cromen-Alumen) và Co-Al (Constantan-Alumen) – $K = (0,8 - 0,1)$.

Khắc phục ảnh hưởng của dao động nhiệt độ môi trường ngoài. Như nêu ở trên, sai số phép đo nhiệt độ một phần là do nhiệt độ đầu tự do khác với nhiệt độ tham chiếu của cặp nhiệt-ngẫu, bởi đầu nguội của cặp nhiệt-ngẫu được đặt trong môi trường bên ngoài, nhiệt độ luôn có thể bị thay đổi, dao động. Thông thường, người ta sử dụng hộp bù tự động mắc nối tiếp với cặp nhiệt-ngẫu (hình 3.27).

Hộp bù nhiệt độ môi trường ngoài thực chất là một cầu trở, trong đó R_1 là điện trở dây đồng thay đổi theo nhiệt độ môi trường; R_2 , R_3 và R_4 là các điện trở cố định. Điện áp đường chéo cầu bù cho lượng nhiệt điện động ứng với nhiệt độ môi trường ngoài (so với nhiệt độ tham chiếu của cặp nhiệt-ngẫu). Lượng điện áp bù này được đặt định bằng chiết áp nguồn cung cấp cho cầu. Nhánh cầu R_1 có điện trở dây đồng thay đổi theo nhiệt độ môi trường, như một phần tử nhiệt-điện-trở, nên dao động nhiệt độ môi trường sẽ làm thay đổi trị số điện trở R_1 và như vậy sẽ làm thay đổi điện áp bù một cách tương ứng.

Các cặp nhiệt ngẫu có phạm vi nhiệt độ làm việc rộng nhất trong tất cả các công nghệ cảm biến nhiệt, từ -200 tới $+2315^\circ C$ (từ -328 tới $+4200^\circ F$), và có thể dùng trong phạm vi môi trường rất khác nhau (xem bảng 3.8). Kết cấu vốn đơn giản của chúng cho phép chịu đựng được mức độ va đập và rung động cơ khí lớn. Kích thước nhỏ cho phép đáp ứng hầu như tức thời đối với những thay đổi nhiệt độ nhỏ.



Hình 3.27 – Sơ đồ bù tự động nhiệt độ ngoài.

Bảng 3.8 – Ứng dụng cặp nhiệt ngẫu.

Class	Thông tin ứng dụng
E	Khuyến nghị sử dụng cho khí quyển oxy hoá liên tục hoặc khí trơ. Không xác lập các giới hạn sai số dưới 0. Tín hiệu nhiệt điện động ra cao nhất của các kiểu nhiệt ngẫu thông dụng.
J	Thích hợp với chân không, khí trơ hay khí quyển giảm áp, khí quyển oxy hoá với tuổi thọ giảm. Sắt bị oxy hoá mau chóng trên $538^{\circ}C$ ($1000^{\circ}F$), cho nên khuyến nghị chỉ dùng các dây đo to chắc cho nhiệt độ cao. Phần tử cảm biến dạng trần không nên dùng trong chất khí sulfurous trên $538^{\circ}C$ ($1000^{\circ}F$).
K	Khuyến nghị sử dụng cho chất khí oxy hoá liên tục hay khí trơ. Chủ yếu dùng trên $538^{\circ}C$ ($1000^{\circ}F$). Có khả năng sai hỏng nếu bộc lộ trong khí sulfur. Sự oxy hoá ưu tiên chất chromium ở chân dương trong mật độ oxy thấp ở mức nhất định sẽ tạo ra hiện tượng “xanh đỏ” và sự trôi hiệu chuẩn âm lớn đa phần là nghiêm trọng trong phạm vi $(816 \div 1038)^{\circ}C$ (tức $1500-1900^{\circ}F$). Việc thông gió hoặc bịt kín bên trong ống bảo vệ có thể ngăn ngừa hiện tượng này.
N	Có thể sử dụng trong những ứng dụng mà phần tử loại K có tuổi thọ ngắn hơn và có vấn đề với độ ổn định bởi sự oxy hoá và xu hướng phát triển hiện tượng “xanh đỏ”.
T	Sử dụng được trong những môi trường oxy hoá, khí trơ hoặc giảm áp cũng như trong chân không. Không bị ăn mòn trong môi trường ẩm. Các giới hạn sai số được công bố cho phạm vi nhiệt độ dưới 0.
R&S	Khuyến nghị sử dụng cho nhiệt độ cao. Phải được bảo vệ trong ống phi kim loại và chất cách điện gốm. Sử dụng liên tục ở nhiệt độ cao sẽ gây nên sự phát triển hạt lớn có thể dẫn tới hư hỏng cơ khí. Độ trôi hiệu chuẩn âm gây ra bởi sự khuếch tán rhodium vào chân nghèo platinum cũng như do bốc hơi rhodium. Loại R dùng trong công nghiệp, còn loại S dùng trong phòng thí nghiệm.
B	Cũng như loại R&S nhưng có đầu ra thấp hơn. Cũng có nhiệt độ tối đa cao hơn và kém nhạy đối với hiện tượng tạo hạt lớn trong tinh thể.

Cuối cùng, có thể tóm tắt một số ưu nhược điểm chủ yếu của các phần tử nhiệt ngẫu dưới đây.

Ưu điểm:

- Kích thước nhỏ cho phép đáp ứng nhiệt nhanh.
- Tương đối không đắt tiền.
- Phạm vi nhiệt độ rộng.
- Có tính bền chắc lâu dài hơn loại RTDs để dùng trong các ứng dụng có rung động lớn và độ va đập cao.
- Là các kiểu có hiệu chuẩn theo ANSI.

Nhược điểm:

- Phải được bảo vệ trong môi trường xâm thực.
- Kích thước dây đo mảnh hơn sẽ ít ổn định hơn và có tuổi thọ vận hành ngắn hơn.
- Sử dụng dây đo đồng tẩm *plated-copper instrumentation wire* sẽ gây ra sai số khi nhiệt độ môi trường xung quanh thay đổi.
- Đòi hỏi phải có dây dẫn nối mạch chuyên dụng.
- Đòi hỏi có đầu nối tham chiếu.
- Kém ổn định hơn các RTDs trong các biến thể hoặc ở nhiệt độ cao.
- Nên được thử nghiệm cho hiện thực biến thể dưới những điều kiện có điều khiển đối với những ứng dụng nghiêm trọng.
- Đòi hỏi các bộ phận thành phần hoặc mạch phụ trợ để điều khiển phụ tải ứng dụng.

Như vậy, bài này chúng ta tập trung vào các vấn đề cảm biến và đo lường các nhiệt cao trong công nghiệp (đến 1800 °C). Đối với dải nhiệt độ cao hơn, thường người ta dùng các loại cảm biến bức xạ (xem mục 3.4). Phần tiếp theo sẽ chú trọng vào dải nhiệt độ thấp hơn, phổ biến trong các ứng dụng kỹ nghệ môi trường và dân dụng.

BÀI 4

KỸ THUẬT CẢM BIẾN NHIỆT ĐỘ THẤP.

Chương 3. CẢM BIẾN ĐO NHIỆT ĐỘ. PHẦN 2.

Mục tiêu bài này tập trung vào những khái niệm cơ bản và kỹ thuật cảm biến nhiệt độ trong các ứng dụng đo lường và điều khiển – gồm 2 phần của chương 3 (cảm biến nhiệt độ cao và nhiệt độ thấp).

Nội dung cơ bản mà SV phải nắm được ở bài này là những vấn đề trọng tâm sau:

- Khái niệm cơ bản về nhiệt độ và thang đo nhiệt độ; các đặc trưng phần tử cảm biến nhiệt. Các loại phần tử cảm biến nhiệt ứng dụng trong kỹ thuật công nghệ, dùng cho các hệ đo lường điều khiển: kết cấu, hoạt động chức năng, các đặc tính kỹ thuật, đặc điểm ứng dụng.
- Các vấn đề ứng dụng thực tiễn các phần tử cảm biến và điều chỉnh nhiệt độ trong hệ thống tin đo lường điều khiển; có nhận thức và rèn kỹ năng tổng hợp, thiết kế và chế tạo hệ thống cụ thể trong thực tế môi trường ứng dụng.
- Bài 4 tập trung trọng tâm là kỹ thuật cảm biến nhiệt độ thấp bằng các phần tử cảm biến bán dẫn và vi mạch, ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp và dân dụng.

Thời lượng bài giảng là 04 tiết/45 tiết lên lớp theo chương trình môn học là 03TC (45 tiết) và 04 tiết tự nghiên cứu.

3.3 – Phần tử cảm biến nhiệt bán dẫn.

3.3.1 – Nhiệt điện trở bán dẫn Thermistor. Thermistor (*thermal sensitive resistor* – điện trở nhạy nhiệt), là linh kiện nhiệt điện trở bán dẫn, làm từ vật liệu bán dẫn có điện trở phụ thuộc vào

nhiệt độ. Trong ứng dụng thermistors được coi như dụng cụ hai cửa, hoạt động theo nguyên lý thay đổi điện trở theo nhiệt độ,

Thermistor là những dụng cụ thay đổi điện trở trong tương quan với nhiệt độ của nó. Điển hình là chúng bao gồm tổ hợp hai hoặc ba lớp oxide kim loại được dung kết *sintered* trong một vật liệu nền gốm và có các dây dẫn ra được hàn vào chất liệu bán dẫn *semiconductor wafer* hoặc chip vi mạch, có phủ lớp vỏ bọc epoxy hoặc thủy tinh.

Ngoài công nghệ oxide kim loại, linh kiện PTC cũng có thể được chế xuất bằng chất polymer điện dẫn. Những linh kiện này ứng dụng hiệu ứng thay đổi phase trong vật liệu để cung cấp sự tăng trưởng nhanh điện trở. Điều đó cho phép sử dụng chúng đối với hiện tượng quá dòng cũng như quá nhiệt.

Giống như các điện trở nhiệt kim loại RTD, trị số điện trở của thermistor được cho với dung sai cộng hay trừ (\pm) ở nhiệt độ tỷ đối. Các thermistors thường được đặc trưng ở $25[^\circ C]$. Có thể làm điện trở của thermistors thực sự tuyến tính bằng cách dùng mạch hỗ trợ như mạch cầu Wheastone. Có thể diễn dịch điện trở thermistor bằng cách dùng các bảng tra, dùng để thực hiện chức năng chuyển mạch hoặc để dẫn tới máy đo, hay cũng có thể dùng trong các ứng dụng cảm biến đo mức chất lỏng. Trong các mạch điện tử, thermistors được dùng để bù sự trôi nhiệt độ của các linh kiện mạch điện tử, để đo lường nhiệt độ hoặc dùng trong mạch bảo vệ dòng khởi động máy điện ...

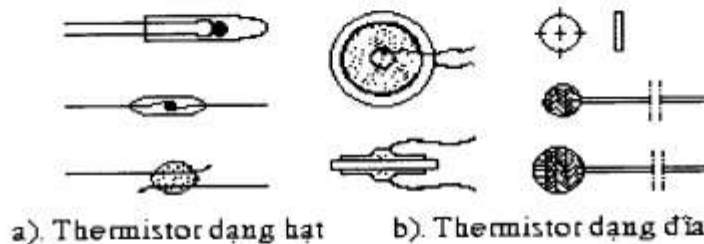
Các thermistors phân biệt hai loại theo hệ số nhiệt độ *Temperature Coefficient*:

- NTC-thermistor (còn gọi là “phần tử dẫn nóng”), có hệ số nhiệt độ âm *negative-*; và
- PTC-thermistor (“phần tử dẫn nguội”), có hệ số nhiệt độ dương *positive-*.

Ứng với sự thay đổi nhiệt độ theo hướng tăng thì các linh kiện PTC có tính chất thay đổi dương (tăng điện trở), còn linh kiện NTC có tính thay đổi âm (giảm điện trở).

Điều đó có nghĩa là khi nhiệt độ tăng, các NTC-thermistor giảm điện trở, cho dòng điện chạy qua lớn hơn, cho nên chúng là phần tử dẫn dòng khi nóng lên và được gọi là phần tử “dẫn nóng”. Ngược lại, các phần tử PTC-thermistor sẽ tăng giá trị điện trở khi nhiệt độ tăng, và như vậy, phần tử PTC sẽ dẫn dòng lớn hơn khi ở nhiệt độ thấp, nên được gọi là phần tử “dẫn nguội”.

Các thermistors được làm từ các vật liệu bán dẫn trên cơ sở oxyde và được chế xuất với nhiều kích cỡ kiểu dạng khác nhau. Kiểu dạng cấu trúc các phần tử thermistor được định hướng tùy theo ứng dụng cụ thể. Phần lớn những phần tử này có dạng hạt (thủy tinh). Dạng kết cấu hạt cho phép đo nhiệt độ điểm, khi nhiệt độ thay đổi đột ngột dẫn tới những biến động ngắn hạn. Những phần tử thermistor ứng dụng cho các chức năng điều khiển như hạn dòng hay hạn lưu chuyển mạch, thì vì phải làm việc với dòng lớn nên thermistor cũng phải có tiết diện lớn hơn. Đó là kết cấu dạng đĩa (hình 3.28).



Hình 3.28 – Thermistor dạng hạt và dạng đĩa.

Các thermistors không tuyến tính, do đó, chúng thường không được dùng để cung cấp chỉ số đo nhiệt độ với độ chính xác cao, nhưng để chỉ thị những thay đổi nhiệt độ, nói ví dụ như quá nhiệt. Hơn nữa, phần lớn các thermistors có hệ số nhiệt độ âm, có nghĩa là điện trở giảm khi nhiệt độ tăng, như minh họa bằng đường kẻ đậm trong đồ thị đặc tuyến điện áp-nhiệt độ hình 3.29a. Một tiện ích rất đáng mong ước

ở những dụng cụ này là độ nhạy cao của chúng. Một sự thay đổi nhỏ nhiệt độ có thể tạo ra một thay đổi lớn về điện trở.

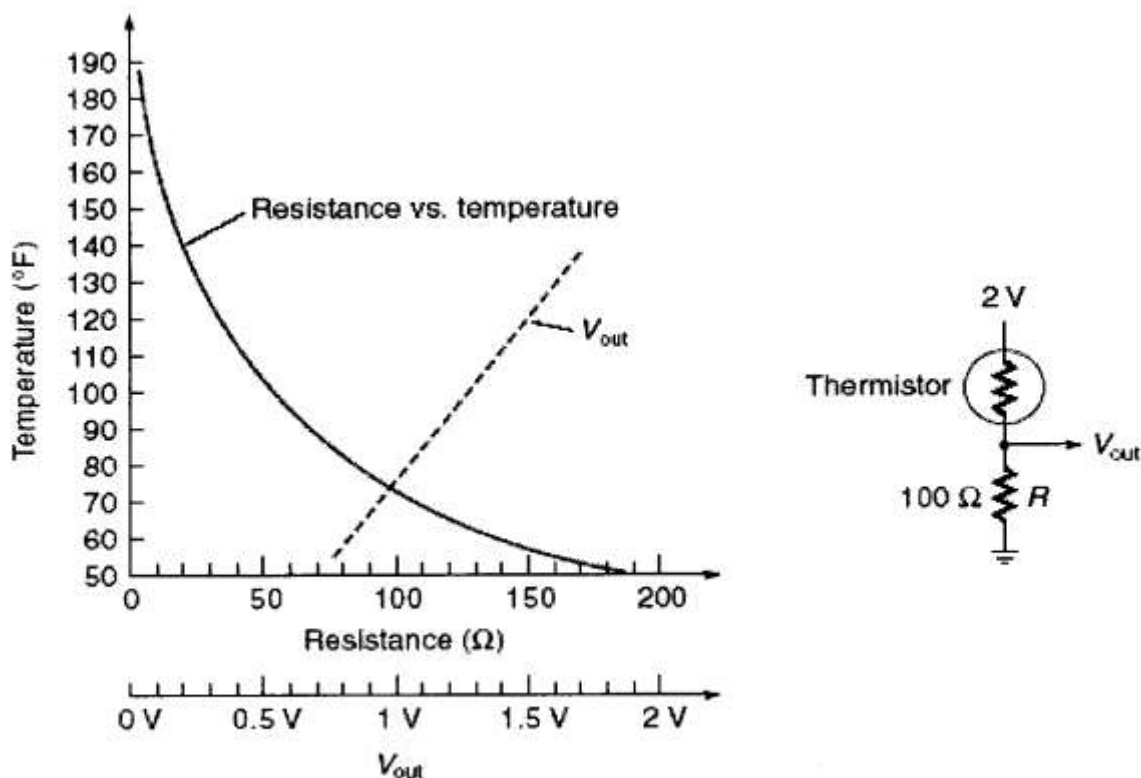
Hình 3.29b giới thiệu một mạch giao diện thermistor đơn giản. Bằng cách đặt thermistor lên đầu một mạch phân áp, điện áp được lấy ra khá là tuyến tính và đặc tuyến có độ dốc dương (đường kẻ đứt quãng trên hình 3.29a). Trị số điện trở R (xem hình 3.29b) nên chọn sao cho gần với trị số danh định của thermistor. Các thermistors được chế xuất với một phạm vi trị số điện trở rộng, từ vài ohm tới megaohm, việc lựa chọn chúng tùy theo phạm vi nhiệt độ quan tâm. Các mẫu điện trở cao được dùng cho những nhiệt độ cao, để tăng độ nhạy, và để giữ cho cảm biến không hút dòng quá lớn. Ví dụ, hãy giả thiết cái gì sẽ xảy ra nếu ta dùng thermistor hình 3.29 trong phạm vi nhiệt độ $(150 - 200)[^{\circ}F]$, độ nhạy chỉ bằng $0,1[\Omega / ^{\circ}C]$, và trị số điện trở danh định rất thấp $(15-20)[\Omega]$. Nếu ta cho thermistor ấy hoạt động chỉ trong phạm vi nhiệt độ $(50-100)[^{\circ}F]$, thì độ nhạy sẽ cao hơn nhiều $(2,6[\Omega / ^{\circ}C])$, và trị số điện trở danh định cao hơn (giữa 50 và $80[\Omega]$).

Ví dụ 3.2. Một điện trở nhiệt kim loại platinum Pt-100 được sử dụng trong hệ. Số đo điện trở hiện thời là $110[\Omega]$. Xác định nhiệt độ.

Giải. Số đo nhận được là $110[\Omega]$ có nghĩa là điện trở đã tăng thêm $10[\Omega]$ từ trị số của nó ở $0^{\circ}C$. Do đó, nếu biết hệ số nhiệt độ của thermistor là $0,39[\Omega / ^{\circ}C]$, ta có thể tính toán ra nhiệt độ hiện hữu là:

$$100[\Omega] \cdot \frac{[^{\circ}C]}{0,39[\Omega]} = 25,6[^{\circ}C] .$$

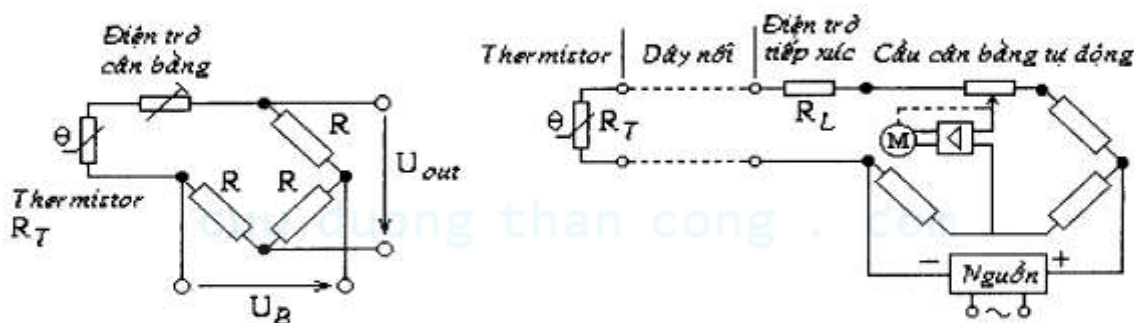
cuu duong than cong . com



Hình 3.29 – Thermistor: cuuduongthancong.com

a). Đặc tuyến nhiệt độ–điện trở; b). Mạch giao diện.

Mạch đo ứng dụng dùng điện trở nhiệt bán dẫn thermistor thường là mạch cầu trở. Hình 3.30 giới thiệu nguyên lý mạch cầu đo với thermistor và cầu cân bằng tự động trong ứng dụng thermistor.



Hình 3.30 – Sơ đồ nguyên lý mạch cầu đo dùng thermistor.

Thermistor NTC. Nhiệt điện trở dẫn nóng NTC có hệ số nhiệt độ âm từ $-0,030$ đến $-0,055 [1/^\circ K]$. Khác với các nhiệt điện trở kim

loại, khó có thể biểu diễn một cách đơn giản mối liên quan trị số điện trở ở một nhiệt độ nhất định với trị số điện trở ở nhiệt độ tham chiếu của thermistors. Ở đây ta sơ lược khảo sát chúng.

Sự phụ thuộc nhiệt độ của điện trở phần tử thermistor NTC dẫn nóng có thể biểu diễn theo công thức:

$$R_T = R_N \cdot e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_N} \right)}; \quad \text{hoặc:} \quad (3.20)$$

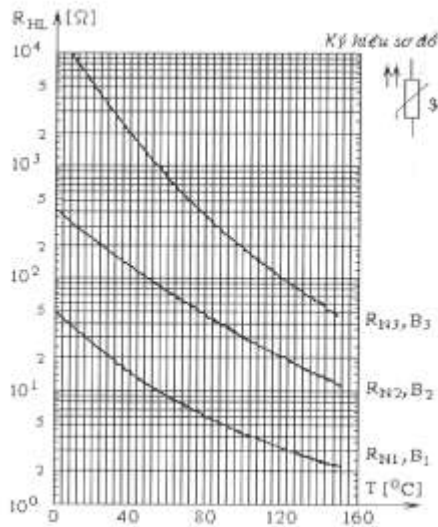
$$R_T = R_N \cdot e^{\alpha_{T_N} \cdot \Delta T \cdot \frac{T_N}{T}}; \quad \text{ở đây:} \quad (3.21)$$

$$\alpha_{T_N} = \frac{-B}{T^2}; \quad (3.22)$$

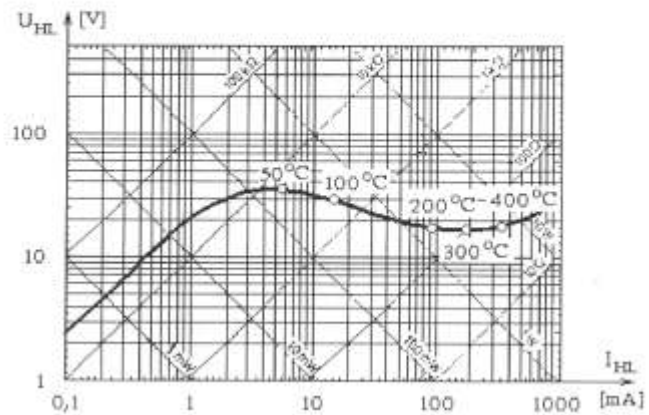
ở đây: R_T – điện trở phần tử thermistor NTC ở nhiệt độ T , tính bằng $[^\circ K]$; R_N – điện trở thermistor NTC ở nhiệt độ dẫn xuất $T_N = 293[^\circ K] = 20[^\circ C]$; B – hằng số vật liệu, xác định sự phụ thuộc nhiệt độ dẫn nóng; α_N – hệ số nhiệt của phần tử thermistor NTC.

Các lượng nhiệt độ T trong những biểu thức này được tính theo đơn vị Kelvin $[^\circ K]$, (tuy rằng đơn vị chính thức $[K]$ không có dấu độ $(^\circ)$ như $[^\circ C]$ hay $[^\circ F]$, ở đây biểu diễn vậy chỉ để không lẫn với hệ số (hay hằng số) K trong các biểu thức tính toán).

Các biểu thức trên mô tả sự phụ thuộc nhiệt độ của nhiệt điện trở thermistor NTC ở dạng gần đúng. Đối với những phép đo chính xác hơn trong một phạm vi biến thiên nhiệt độ rộng hơn thì ít nhiều sẽ có sai lệch. Cho nên phải coi hằng số B là hàm biến thiên theo nhiệt độ. Hình 3.31 vẽ các đặc tuyến biến trở phụ thuộc nhiệt độ đối với các trị số điện trở dẫn xuất và giá trị B khác nhau.



Hình 3.31



Hình 3.32

Đặc tuyến điện trở phần tử dẫn nóng. Đặc tuyến volt-ampere trạng thái tĩnh (thường ổn).

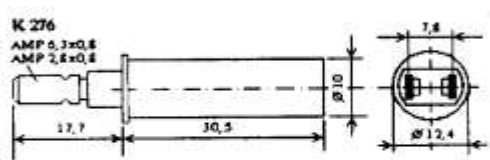
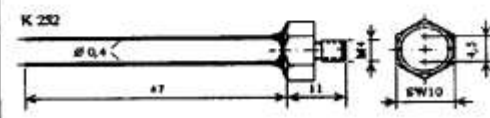
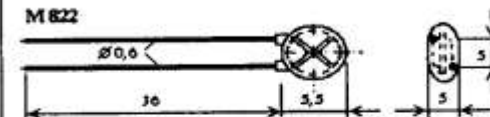
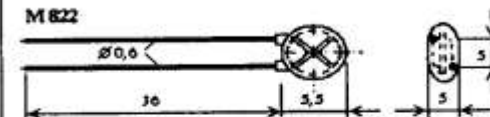
Trong ứng dụng các phần tử nhiệt điện trở dẫn nóng thì nhiệt độ môi trường được xác định theo trị số điện trở, ví như trong các phép đo nhiệt độ hay trong kỹ thuật điều chỉnh nhiệt, cho nên cần lưu ý không được để phần tử thermistor NTC bị làm nóng lên do dòng điện chạy qua (hiện tượng phát nhiệt tự thân). So với các số liệu giới hạn của thermistor NTC, không được để bị dòng quá tải.

Khi nhiệt độ môi trường thay đổi, sau một thời gian ngắn thermistor NTC sẽ có nhiệt độ bằng nhiệt độ môi trường. Trị số điện trở sẽ được xác định theo đường cong đặc tuyến $R_{HL} = f(T_{HL})$ cho trong tài liệu kỹ thuật của hãng sản xuất ứng với những trị số điện trở danh định khác nhau (xem hình 3.31).

Trường hợp dòng điện hay điện áp của thermistor NTC lớn hơn bình thường sẽ làm nóng thermistor lên đến nhiệt độ cao hơn nhiệt độ của môi trường. Việc này dẫn tới trạng thái thường ổn *stationare*, khi tổn hao công suất điện năng do tăng dòng hay áp sẽ bằng công suất mà phần tử dẫn nóng toả ra môi trường dưới dạng độ nóng gia tăng ấy. Nhằm nghiên cứu các đặc tính này người ta xác định đặc tuyến tĩnh

của phần tử . Hình 3.32 vẽ đặc tuyến như vậy của một thermistor NTC dẫn nóng.

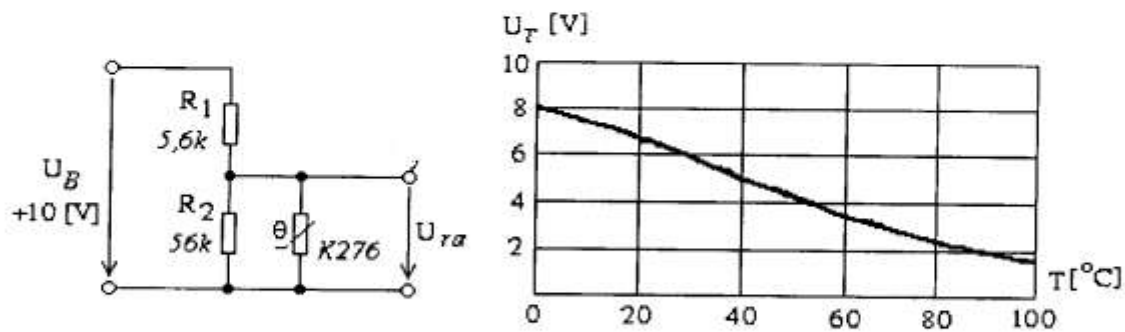
Bảng 3.9 – Các thông số khái quát của phần tử biến trở dẫn nóng (Siemens).

	Kiểu	Đtrở danh định R_N [Ω]	Dung sai ΔR_N [%/ $^{\circ}K$]	Hệ số B , [$^{\circ}K$]	Chịu tải P_{25} [mW]	Nhiệt độ danh định, [$^{\circ}C$]	Phạm vi nhiệt độ [$^{\circ}C$]		
	K276	330	$\pm 3,5$	3 950	1000	100	-10 đến +100		
		330		3 950					
		950		3 760					
		950		3 760					
	K252	500	± 10	3 410	400	20	-55 đến +125		
		1 k		3 560					
		6 k		3 950					
		40 k		4 250					
		M822	500	± 20	3 410	400	20	-55 đến +125	
					1 k				3 560
					6 k				3 950
					40 k				4 250
	M822	1 k	± 5	3 730	750	25	-55 đến +125		
		1,5k		± 10				3 900	
		2,2k		3 900					
		3,3k		3 950					
		4,7k		3 950					
		6,8k		4 200					
		10 k		4 300					
		15 k		4 250					
		22 k		4 300					
		33 k		4 450					
		47 k		4 600					
		68 k		4 600					
		100 k		4 830					
		150 k		5 000					
		220 k		5 000					
330 k									
470 k									

Vị trí điểm cực đại trên đặc tuyến volt-ampere tùy thuộc điện trở nguội của thermistor NTC, nhiệt độ môi trường và cả diện tích bề

mặt của phần tử dẫn nóng. Phần tử có diện tích bề mặt lớn hơn, do đó tản nhiệt tốt hơn, sẽ phát tán công suất ra môi trường nhiều hơn so với phần tử có diện tích bề mặt nhỏ. Trong trường hợp đó điểm cực đại sẽ xô dịch về phía trị số dòng và áp lớn hơn. Các phần tử nhiệt điện trở dẫn nóng dùng trong đo lường và mạch điều khiển bù cân bằng *compensation* chỉ nên chịu tải nhẹ, sao cho không bị phát nhiệt tự thân, như vậy trị số điện trở của chúng mới thật sự chỉ tùy thuộc nhiệt độ môi trường.

Do điện trở nguội và hệ số nhiệt có thể khác nhau cho những phần tử cùng loại, đến mức thường phải chỉnh định cân bằng trị số phần tử bằng cách mắc nối tiếp hay song song một điện trở không phụ thuộc nhiệt độ. Để tuyến tính hoá đặc tuyến, người ta dùng sơ đồ mắc phần tử dẫn nóng vào một bộ phân áp (hình 3.33). Điện trở R_1 có trị số sao cho phần tử nhiệt điện trở NTC chỉ thị vào khoảng giữa phạm vi nhiệt độ làm việc. Trị số điện trở R_2 lớn gấp 10 lần điện trở R_1 .



Hình 3.33 – Tuyến tính hoá đặc tuyến phần tử biến trở NTC.

Các phần tử nhiệt điện trở thermistor dẫn nóng NTC được phân loại theo những ứng dụng chủ yếu của chúng và được gọi tên theo đó. Kiểu phần tử K276 dùng cho những mạch chức năng đo và điều chỉnh nhiệt độ làm việc trong môi trường không khí tự nhiên hay trong chất lỏng. Kiểu K252 đặc biệt dùng cho các mạch ráp trên chassis (khung, găm, vỏ máy, ...).

Tuy nhiên, cũng có thể dùng vào những ứng dụng khác như là trường hợp riêng của nó vậy. Nói ví dụ, một phần tử biến trở khởi động, hoàn toàn có thể dùng cho mạch đo lường, nhưng khi đó cần phải tính toán lại dung sai toàn phần của đặc tuyến volt-ampere và của đặc tuyến nhiệt một cách riêng lẻ và kỹ lưỡng.

Trên thị trường có sẵn vô số linh kiện phần tử nhiệt điện trở dẫn nóng của nhiều hãng khác nhau, ở đây chỉ nêu lên một số phần tử, linh kiện nhiệt điện trở dẫn nóng của hãng Siemens dùng trong kỹ thuật đo lường và điều khiển (bảng 3.9).

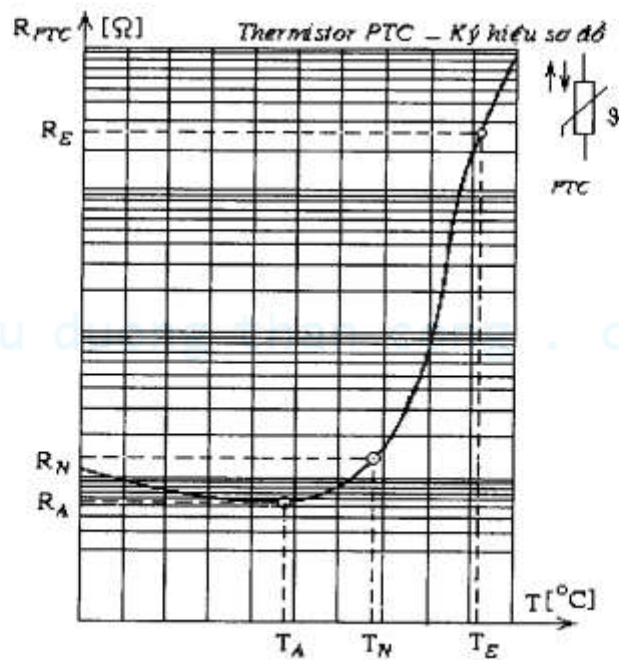
Thermistor PTC. Phần tử nhiệt điện trở PTC dẫn nguội được chế từ gốm pha titanat đa tinh thể. Chúng có hệ số nhiệt độ dương PTC rất lớn trong một phạm vi nhiệt độ đặc trưng. Trong khoảng nhiệt độ này điện trở thermistor gia tăng hơn mười phần trăm (hình 3.34). Sự gia tăng điện trở là do tác động chất bán dẫn và hiệu ứng sắt-điện. Ở vùng lân cận hạt nhân tinh thể có một lớp chặn mà độ lớn mức điện thế của nó tùy thuộc hằng số điện môi của vật liệu quanh nó. Sự hình thành lớp chặn quyết định mức gia tăng điện trở. Ở miền điện trở thấp, lớp chặn dàn ra tương đối yếu, hằng số điện môi lớn, nhiệt độ làm việc của phần tử thấp hơn nhiệt độ chuyển pha, được coi như trị số giới hạn hay còn gọi là nhiệt độ Curie. Trên mức ngưỡng nhiệt độ chuyển pha thì hằng số điện môi giảm xuống, lớp chặn mạnh lên, và như vậy điện trở phần tử tăng lên có dạng dốc đứng. Sự hoạt hoá nhiệt của tải gây ra sự sụt giảm điện trở ở chất bán dẫn, sẽ được bù hoàn, mặc dù vẫn còn có thể nhận thấy ở miền nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ Curie (xem hình 3.34).

Điểm đầu phạm vi làm việc gọi là nhiệt độ ban đầu T_A , điện trở tương ứng với nhiệt độ đó là điện trở ban đầu R_A – là trị số điện trở nhỏ nhất của phần tử nhiệt điện trở PTC. Điện trở tương ứng điểm đầu đoạn tăng trưởng dốc đứng được coi là trị số danh định R_N ở nhiệt độ danh định T_N .

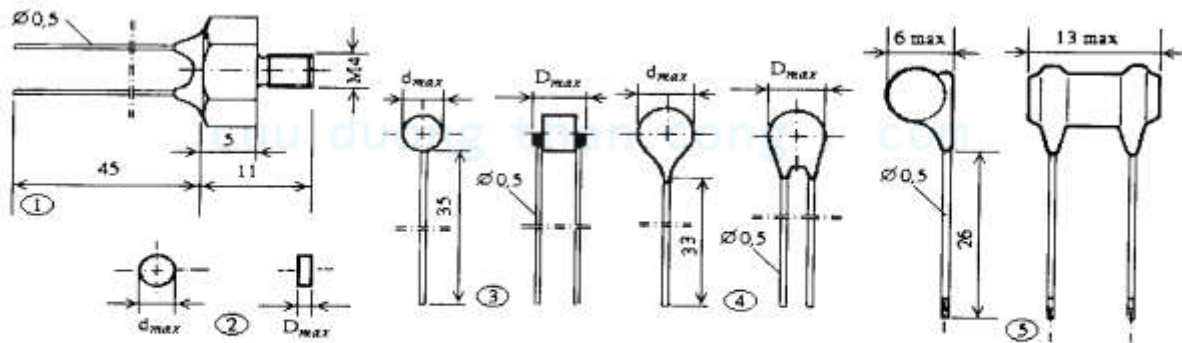
Nhiệt độ danh định gần như tương ứng nhiệt độ Curie của vật liệu phần tử nhiệt điện trở dẫn nguội. Để trị danh định trở thành giá trị có thể tái lập lại, người ta thống nhất rằng trị số điện trở danh định R_N có độ lớn gấp đôi trị điện trở ban đầu R_A .

$$R_N = 2.R_A. \quad (3.23)$$

Dãy số nhiệt độ danh định đối với các phần tử dẫn nguội là: -30; ±0; +20; +40; +60; +80; +110; +120; +130; +160; và +180 [°C]. Dung sai là ±5[°K].



Hình 3.34 – Biến thiên điện trở là hàm nhiệt độ phần tử dẫn nguội.



Hình 3.35 – Cấu trúc các phần tử biến trở PTC (Siemens).

Trong các ứng dụng hạn dòng (ví dụ như bảo vệ động cơ) nhiệt độ danh định của các phần tử dẫn nguội nằm trong phạm vi $(60 \div 180)$ $[^{\circ}C]$ chia thành nấc, mỗi nấc $10 [^{\circ}K]$. Trị số nhiệt độ đáp ứng danh định lại không phải là nhiệt độ danh định của phần tử mà là nhiệt độ ứng với điện trở bằng $570 [\Omega]$ (đôi khi cũng chọn từ $600 [\Omega]$ đến $1,7 [k\Omega]$). Nhiệt độ cuối T_E là điểm cuối đoạn tăng trưởng điện trở dốc đứng. Như thấy từ sự biến thiên điện trở của phần tử dẫn nguội phụ thuộc vào nhiệt độ, các giá trị nhiệt độ cuối T_E và điện trở cuối R_E không phải là những thông số đặc trưng của phần tử cảm biến nhiệt điện trở.

Do phần tử dẫn nguội được thử nghiệm ở cường độ điện trường khoảng $1 [V/mm]$, như trường hợp lấy đặc tuyến tính của phần tử cảm biến điện trở PTC, nên có thể bỏ qua sự phát nhiệt tự thân và tính chất điện trở phụ thuộc điện áp. Cũng tồn tại mối liên quan giữa điện trở phần tử dẫn nguội và nhiệt độ trong phạm vi khoảng điện trở tăng trưởng dốc đứng. Dựa trên cơ sở mối liên quan đó mà phần tử dẫn nguội PTC được dùng làm cảm biến nhiệt độ. Một lĩnh vực ứng dụng quan trọng của phần tử dẫn nguội là được ghép vào cuộn dây máy điện để theo dõi nhiệt độ bố trí dây động cơ. Bởi phải làm việc trong cường độ điện trường khoảng $10 [V/mm]$ nên nó bị gia nhiệt cao hơn trị nhiệt độ danh định.

Hình 3.35 giới thiệu cấu trúc và bảng 3.10 nêu thông số một vài phần tử cảm biến điện trở dẫn nguội dùng trong kỹ thuật đo lường và điều khiển.

cuu duong than cong . com

Bảng 3.10 – Thông số kỹ thuật phần tử biến trở PTC (Siemens).

Điện áp U_{max} , [V] (ở 25 [°C])	Điện trở R_{25} , [Ω]	Dung sai [%]	Nhiệt đầu T_A , [°C]	R_A , [Ω]	T_N , [°C]	Cấu trúc (hình 3.28)	Kiểu	
20	130	+ 100 - 50	- 10	115	40	1)	P310	
	80		+ 20	80	60		P330	
	80		+ 40	76	80		P350	
	80		+ 80	74	120		P390	
30	> 100k	-	- 70	700	- 30	2)	P240	
	> 5k	-	- 40	600	0		P270	
	110	± 25	0	95	40		P310	
	80	± 25	+ 20	80	60		P330	
	80	± 25	+ 40	80	80	3)	P350	
	85	± 25	+ 80	75	120		P390	
	110	± 25	+ 120	80	160		4)	P430
	110	± 25	+ 140	70	180		P450	
250	1 100	+100 - 50	+ 20	1 000	60	5)	P330	
	1 100		+ 40	1 000	80		P350	
	1 100		+ 80	1 000	120		P390	

Kỹ thuật ứng dụng. Kết cấu thermistors làm cho chúng trở thành cảm biến nhạy nhất hơn tất cả các cảm biến nhiệt khác đối với sự thay đổi nhiệt độ. Bởi không chứa những vật liệu như platinum, chúng tương đối rẻ tiền so với những điện trở nhiệt kim loại dây quấn khác. Kích thước nhỏ cho phép chúng sử dụng được trong nhiều ứng dụng khác nhau. Cộng vào đó là chúng có thể được đúc khuôn dễ dàng thành những gói có vỏ bọc bảo vệ dùng lâu bền.

Tuy nhiên, bởi vì những vật liệu sử dụng, chúng hoạt động trong phạm vi nhiệt độ hẹp hơn (từ -100 tới +300 °C) so với các RTDs hay cặp nhiệt ngẫu. Và bởi vì các đặc tính nhiệt điện trở của chúng là không tuyến tính nên ứng dụng của chúng bị hạn chế trong một phạm

vi nhiệt độ hẹp để giảm thiểu ảnh hưởng độ phi tuyến. Các thermistors PTC có phạm vi nhiệt độ sử dụng hẹp hơn loại NTC.

Nhược điểm khác gắn liền với thermistors là chúng có thể sai sót trong kiểu “chập mạch”. Một cách tiềm tàng, điều này có thể tạo nên một điện trở mà hệ thống có thể diễn dịch như là chỉ số đo nhiệt độ chứ không phải là linh kiện cảm biến bị hỏng.

Cũng như với các RTDs, thermistors là dụng cụ được cấp nguồn. Chúng đòi hỏi có điện đầu vào để hoạt động. Trong những ứng dụng mà nguồn năng lượng cung cấp là vấn đề nghiêm trọng hoặc đòi hỏi phải có giao diện vi mạch IC, có thể đòi hỏi phải có nguồn battery dự phòng.

Cũng cần phải lưu ý đến việc tiếp mass và hiện tượng phát nhiệt tự thân của dụng cụ trong ứng dụng. Bởi vì đó là linh kiện điện trở, chúng tạo nhiệt tự thân thêm vào nhiệt lượng cần đo. Bởi vì nhiệt độ đo tăng lên, điện trở của dụng cụ giảm xuống, hiệu ứng phát nhiệt tự thân sẽ tăng lên. Nếu vỏ mass và độ nhiệt dẫn có tác dụng, thì hiệu ứng này sẽ có thể bỏ qua. Tuy nhiên, yêu cầu về độ chính xác của toàn hệ đòi hỏi phải lưu ý tới việc này.

Các thermistors không có các đặc tuyến nhiệt độ và điện trở tiêu chuẩn, cho nên tính năng thay thế lắp lẫn có thể là cả vấn đề. Đó có thể yêu cầu thiết kế lại hệ một cách phí tổn khi xem xét việc thay đổi nhà sản xuất. Phần lớn các nhà sản xuất có những đường cong đặc tuyến điện trở độc quyền của mình, thường được công bố như những lượng tỷ đối dựa trên trị số điện trở ở 25°C .

Các thermistors hoặc có thể là loại mạnh chắc *robust* hoặc cực kỳ mảnh mai. Điển hình là các thermistors kiểu chuỗi *bead thermistors* có các đường dây dẫn cực kỳ mảnh, phải được bảo vệ an toàn một cách tương ứng trong những môi trường có độ rung động cao hay độ va đập lớn. Bản thân chuỗi cũng phải được ghép chặt vào vị trí ứng dụng trong những môi trường như thế.

Sự hiện diện trong nhiệt độ cao có ảnh hưởng nhiều tới độ ổn định lâu bền của cảm biến. Đặc biệt là những vật liệu gốm chọn sử dụng cho những trị số trở kháng thấp, luôn có xu hướng biến động khỏi đường cong đặc tuyến điện trở ban đầu.

Trong những ứng dụng nghiêm trọng, nhà sản xuất phải được tham khảo trong giai đoạn thiết kế để đảm bảo chắc chắn việc lựa chọn dụng cụ. Trong những môi trường xâm thực, những chuỗi phủ epoxy có thể bị mất phẩm chất trong một khoảng thời gian tương đối ngắn. Đối với những kiểu ứng dụng như vậy, nên dùng loại dụng cụ có lớp bọc thủy tinh hoặc tổ hợp đầu đo thậm chí nếu giá thành có cao hơn chút ít.

Ưu điểm:

- Giá thành bộ phận thấp.
- Đáp ứng nhiệt nhanh.
- Có sự thay đổi nhiệt độ lớn đối với thay đổi nhiệt độ cho độ phân giải cao.
- Kích thước cực kỳ nhỏ có nghĩa là tác động nhanh đối với những thay đổi nhiệt độ và khả năng sử dụng trong những tổ hợp khác nhau.
- Có sẵn kiểu điện trở đã được tuyến tính hoá.
- Trị số điện trở cao nên không cần bù điện trở dây nối.

Nhược điểm:

- Phạm vi nhiệt độ đo bị hạn chế.
- Nhiệt độ bọc lộ thấp hơn so với các RTDs hay nhiệt ngẫu.
- Không có định chuẩn điện trở tiêu chuẩn.
- Sự phát nhiệt tự thân có thể ảnh hưởng tới độ chính xác.
- Sự thay đổi điện trở không tuyến tính đòi hỏi những bộ phận phụ trợ để diễn dịch chính xác.

- Sự gia tăng số lượng bộ phận thành phần làm giảm độ an toàn tin cậy của toàn hệ.
- Đòi hỏi phải có các bộ phận thành phần hay mạch phụ trợ để điều khiển phụ tải ứng dụng.

3.3.2 – Phần tử cảm biến nhiệt bán dẫn silicon.

Ở đây sử dụng tính chất phụ thuộc nhiệt độ của vật liệu bán dẫn silicon – chính là sự phụ thuộc vào nhiệt độ của điện trở tinh thể hợp chất silicon. Một khả năng nữa là đánh giá sự sụt áp trên tiếp giáp $p-n$ ở hướng thuận. Từ nguyên lý đó mà người ta chế tạo các phần tử bán dẫn cảm biến nhiệt silicon.

Các cảm biến silicon ứng dụng các tính chất điện trở thể khối *bulk* của vật liệu bán dẫn, nói chính xác hơn là tiếp giáp của hai điện tích ghép nối được pha tạp chất khác nhau. Đặc biệt ở nhiệt độ thấp, các cảm biến silicon có đặc tính tăng điện trở gần như tuyến tính đối với nhiệt độ tăng hoặc hệ số nhiệt độ dương PTC.

Các cảm biến silicon được chế sẵn theo các mẫu thiết kế kiểu dạng phong phú, các đầu tín hiệu ra và giá thành khác nhau. Phạm vi nhiệt độ từ nhiệt độ đông lạnh ($1,4K$) tới $200^{\circ}C$. Với độ nhạy cao và đường cong đặc tuyến điện trở gần tuyến tính, chúng là dụng cụ lý tưởng đối với nhiều ứng dụng.

Tuỳ theo ứng dụng, các cảm biến silicon có thể được thiết kế như một phần tử nằm trong tổ hợp ống nghiệm hoặc tích hợp trực tiếp trên board mạch in trong kết cấu lắp đặt bề mặt. Trong mẫu thiết kế vi mạch sử dụng công nghệ silicon cần rất cẩn trọng đối với hiện tượng quá dòng có thể gây ra sự phát nhiệt tự thân của phần tử cảm biến. Điều đó có thể làm giảm độ chính xác của hệ một cách trầm trọng.

Một số nhà sản xuất đã phát triển các mẫu thiết kế cảm biến vi mạch IC để dùng thay thế các nhiệt kế thermostats trong một số ứng dụng. Chúng có tiện ích được lập trình sẵn khi xuất xưởng hoặc lập trình bởi người sử dụng đối với điểm đặt nhiệt độ setpoint và độ trễ.

Chúng được chế sẵn theo các cấu hình tiêu chuẩn JEDEC (*Joint Electron Device Engineering Council*). Các phương án vi mạch IC được chế xuất có bộ phận chuẩn hoá tín hiệu bên trong chip trực tiếp đưa ra tín hiệu dòng hoặc áp tới bộ điều khiển hoặc bộ chỉ thị. Bởi có bộ nhớ trong, các cảm biến dạng IC có thể được hiệu chuẩn rất chính xác. Chúng hoạt động rất hiệu quả trong những môi trường đa cảm biến *multi-sensor environments* như các mạng truyền thông.

Trị số tín hiệu đầu ra của hầu hết các cảm biến IC tỷ lệ với nhiệt độ trong một phạm vi đặc trưng. Thường thì người ta công nhận độ chính xác tiêu chuẩn (ứng với một phạm vi nhiệt độ nhất định), nhưng cũng thường có thể hiệu chuẩn lại ở một nhiệt độ đặc trưng nào đó. Cùng với chức năng cơ bản điều khiển và chỉ thị nhiệt độ, trong mạch in cũng thường tổ hợp thêm những tính năng khác nhau như bù nhiệt.

Các thông số vận hành của mẫu thiết kế dạng lập trình được bởi người sử dụng, thực hiện bằng cách dùng các điện trở mắc ngoài hoặc được lập trình số thông qua giao diện hai dây liên thông với bộ vi xử lý processor.

Ưu điểm:

- Rẻ tiền hơn các điện trở nhiệt kim loại RTDs.
- Có độ tuyến tính tốt hơn các nhiệt điện trở bán dẫn thermistors.
- Dễ sử dụng hơn RTDs và cặp nhiệt ngẫu thermocouple bởi tín hiệu ra lớn hơn.
- Các kiểu cảm biến vi mạch IC có tiện ích chuẩn hoá tín hiệu tích hợp bên trong chip.
- Nhiều dạng cảm biến IC bao gồm cả các giao thức liên lạc với hệ thu thập dữ liệu kiểu bus.

Nhược điểm:

- Không tuyến tính bằng các RTDs.

- Kém chính xác hơn các hệ cảm biến nhiệt khác.
- Đắt tiền hơn thermistors hay nhiệt ngẫu.
- Phạm vi nhiệt độ làm việc hạn chế.
- Đáp ứng nhiệt chậm hơn các hệ cảm biến nhiệt khác.
- Kích thước điển hình lớn hơn so với các RTDs và thermistors.
- Đòi hỏi bao gói kích thước lớn hơn đối với kiểu nhúng.
- Đòi hỏi phải có các bộ phận thành phần hay mạch phụ trợ để điều khiển tải ứng dụng.

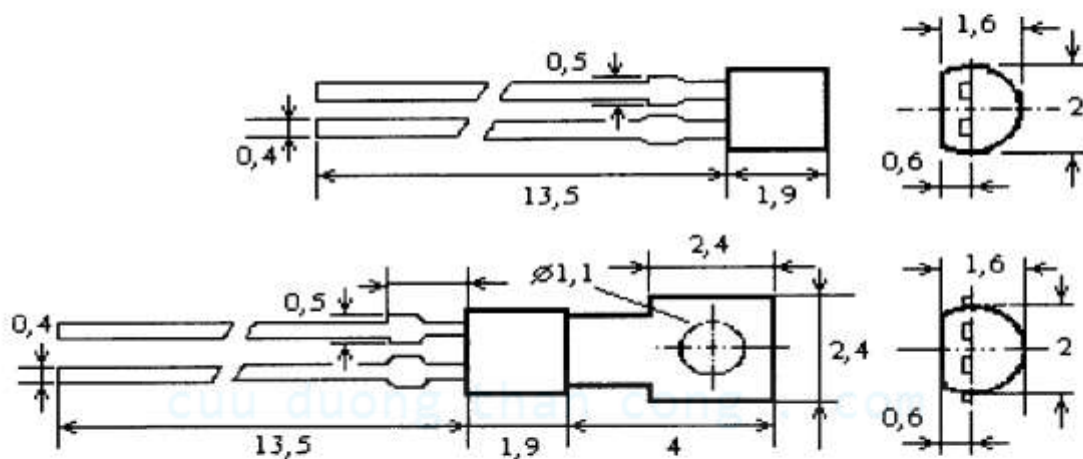
Cảm biến nhiệt bán dẫn loạt KTY10 – KTY16. Phần tử cảm biến nhiệt KTY10 đến KTY16 có chứa lớp tinh thể silic n chế theo công nghệ planart, không có tiếp giáp bán dẫn, chỉ có hai đầu cực dẫn ra. Để đo nhiệt độ, người ta tận dụng tính phụ thuộc nhiệt độ của điện trở giữa hai điện cực. Đặc tuyến điện trở $R=f(T)$ chỉ gần tuyến tính, còn phải tuyến tính hoá tiếp bằng một mạch điện trở ngoài. Các linh kiện cảm biến này vốn có tính năng phụ thuộc chiều dòng điện chạy qua điện trở, bằng cách bố trí thích ứng điện cực của phần tử cũng có thể giảm thiểu được ảnh hưởng này đến mức có thể bỏ qua. Phần tử biến trở loạt này làm việc trong dải nhiệt độ từ -50 đến $+150$ [$^{\circ}\text{C}$]. Điện trở danh định của KTY 10 ở nhiệt độ 25 [$^{\circ}\text{C}$] khoảng từ 1890 [Ω] đến 2110 [Ω].

Các phần tử khác thuộc loạt này có điện trở danh định là 2000 [Ω]. Dung sai được tính theo phần trăm điện trở danh định, chia thành các nhóm. Bảng 3.11 cho thông số kỹ thuật của phần tử biến trở bán dẫn loạt này, hằng số thời gian đáp ứng của đầu đo đối với thay đổi nhiệt độ môi trường. Hằng số thời gian phụ thuộc vào dạng kết cấu đầu đo, sự truyền nhiệt giữa môi trường và đầu đo, bằng khoảng thời gian mà quá trình thích ứng nhiệt đạt tới khoảng $\sim 63\%$. Quá trình thích ứng nhiệt diễn ra theo dạng hàm mũ e tự nhiên.

Bảng 3.11 – Thông số kỹ thuật phần tử cảm biến loại KTY 10 – 16 (hãng Siemens).

Kiểu	$R_{25}, [\Omega]$ ($I_N=1[mA]$)	$\Delta R_{25}, [\%]$ ($I_N=1[mA]$)	$I_{max}, [mA]$ ở 25 [°C]	Hằng số τ , [s]		$T_{m\ddot{o}itruong}, [^\circ C]$
				Khí	Dầu	
KTY 10	1890 ... 2110	-	5	20	4	-50 ... +150
KTY 11-1A	2 000	± 1	3	9,5	1,3	-50 ... +150
KTY 11-1B	2 000	± 2	3	9,5	1,3	-50 ... +150
KTY 11-1C	2 000	± 5	3	9,5	1,3	-50 ... +150
KTY 11-2A	2 000	± 1	3	11	1,5	-50 ... +150
KTY 11-2B	2 000	± 2	3	11	1,5	-50 ... +150
KTY 11-2C	2 000	± 5	3	11	1,5	-50 ... +150
KTY 14-6	2 000	± 1	5	30	4	-30 ... +125
KTY 15-6	2 000	± 1	5	30	4	-50 ... +150
KTY 16A	2 000	± 1	3	10	2	-25 ... +125
KTY 16B	2 000	± 2	3	10	2	-25 ... +125

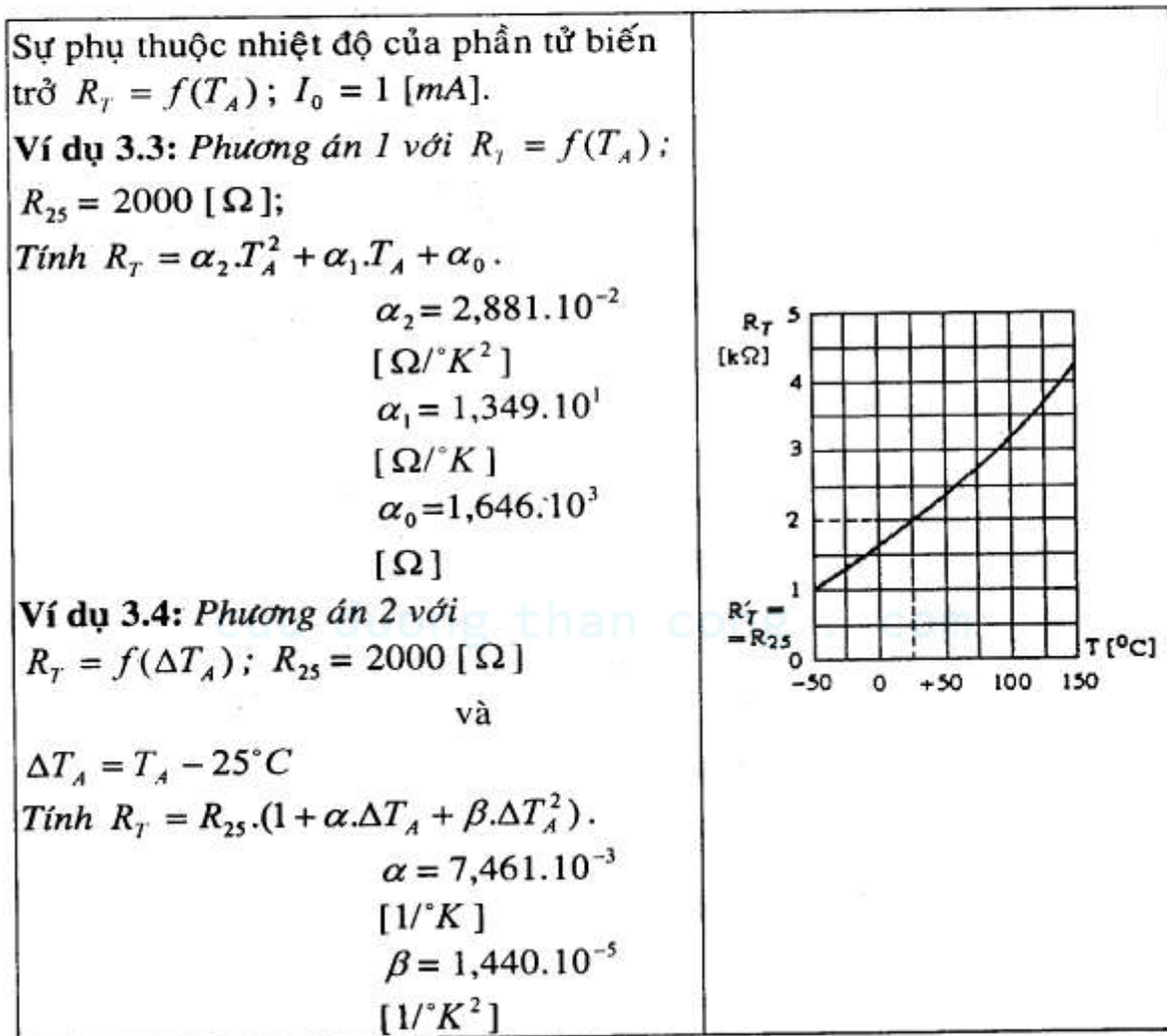
Hình 3.36 là hai dạng linh kiện bán dẫn KTY 11. Các dây dẫn kết nối cảm biến với đế nền được thực hiện sao cho sự truyền tải nhiệt năng là tốt nhất và thời gian đáp ứng của đầu dò là nhỏ nhất.



Hình 3.36 – Kết cấu phần tử cảm biến nhiệt KTY 11.

Hình 3.37 là đồ thị đặc tuyến phần tử cảm biến KTY 11. Đặc tuyến của các phần tử cảm biến này hơi cong. Đối với những ứng dụng thực tiễn thì việc tuyến tính hoá đặc tuyến là rất có ích. Việc tuyến

tính hoá được thực hiện bằng một điện trở mắc nối tiếp khi nguồn cung cấp là nguồn áp hay mắc song song khi nguồn cung cấp là nguồn dòng (hình 3.38).



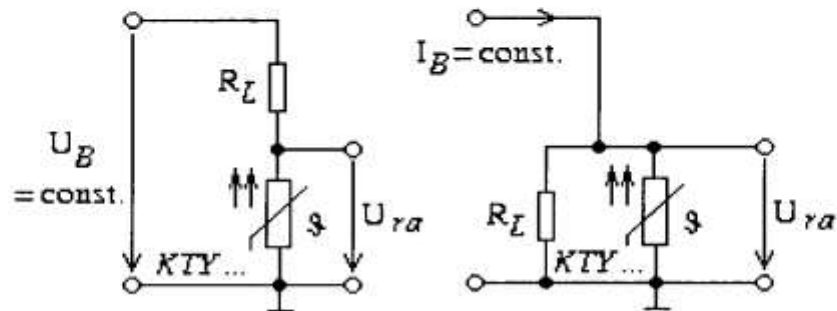
Hình 3.37 – Đặc tuyến và ví dụ tính điện trở $R(T)$ của phần tử KTY 11.

Việc tính toán điện trở tuyến tính hoá R_L trong cả hai trường hợp được thực hiện theo biểu thức:

$$R_L = \frac{R_b \cdot (R_a + R_c) - 2R_a \cdot R_c}{R_a + R_c - 2R_b}; \quad (3.24)$$

ở đây: R_L – điện trở tuyến tính hóa, $[\Omega]$; R_a , R_b và R_c – điện trở của phần tử biến trở ứng với nhiệt độ điểm đầu, giữa và điểm cuối khoảng phạm vi đo, tính bằng $[\Omega]$. Các trị số R_a , R_b và R_c được lấy từ đặc tuyến của phần tử (xem hình 3.37).

Các phần tử cảm biến nhiệt do hãng Valvo chế xuất cũng tương tự, nhưng được ký hiệu là KTY 81/83, và trị số điện trở danh định là $1000 [\Omega]$.



Hình 3.38 – Tuyến tính hoá đặc tuyến phần tử biến trở nhiệt KTY:

a). Với nguồn áp; b). Với nguồn dòng.

3.3.3 – Vi mạch cảm biến nhiệt bán dẫn.

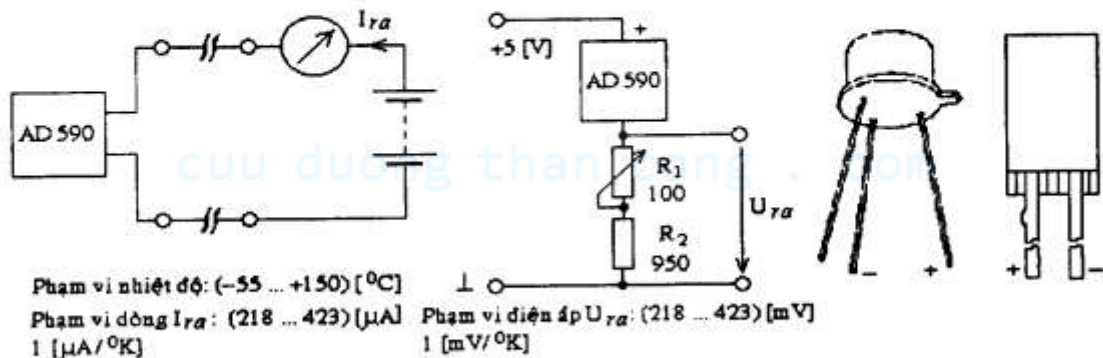
Vi mạch AD 590. Phần tử cảm biến nhiệt AD 590 là vi mạch bán dẫn. Các phép đo nhiệt độ sử dụng sự phụ thuộc điện áp thuận rơi trên tiếp giáp $p-n$ của chúng. Vi mạch AD 590 về bản chất là nguồn dòng phụ thuộc nhiệt độ, giá trị dòng điện đầu ra có trị số tính bằng $[\mu A]$ sẽ tương ứng nhiệt độ tuyệt đối tính bằng $[^{\circ}K]$. Phạm vi làm việc là từ -55 đến $+150 [^{\circ}C]$ tương ứng $218,2$ đến $423,2 [^{\circ}K]$. Điện trở màng mỏng trong vi mạch này được gia công chính xác bằng tia laser, sao cho dòng điện ở nhiệt độ $25 [^{\circ}C]$ có giá trị là $298,2 [\mu A]$. Điện áp làm việc của vi mạch AD 590 có thể trong khoảng $U_B = (4 \div 30) [V]$.

Cảm biến nhiệt AD 590 được phân theo cấp chính xác. Bảng 3.12 là những thông số kỹ thuật chủ yếu của AD 590.

Bảng 3.12 – Thông số kỹ thuật chủ yếu của phần tử cảm biến AD 590.

Đặc tính	AD 590 J	AD 590 K	AD 590 L	AD 590 M
Dòng ra định mức ở 25 [°C], [μA]	298,2	298,2	298,2	298,2
Hệ số nhiệt độ, [$\mu / ^\circ K$]	1			
Sai số chỉnh định ở 25 [°C], (max.)	5 k	2,5k	1 k	0,5k
Sai số trong phạm vi đo (max.):	± 10 k	$\pm 5,5$ k	± 3 k	$\pm 1,7$ k
- không biện pháp cân bằng nhiệt:	± 3 k	± 2 k	$\pm 1,6$ k	$\pm 1,0$ k
- có biện pháp cân bằng nhiệt:				
Độ phi tuyến (max.)	$\pm 1,5$ k	$\pm 0,8$ k	$\pm 0,4$ k	$\pm 0,3$ k

Kết cấu có dạng như linh kiện transistor tròn hay dẹt, dạng vi mạch hay dạng có vỏ bọc hình trụ tùy theo ứng dụng kỹ thuật. Cảm biến loại này về nguyên lý là nguồn dòng, nên cho phép đường dây kết nối dài giữa phần tử và mạch điện tử xử lý tín hiệu. Là nguồn dòng trở kháng cao, việc thay đổi điện áp nguồn cung cấp không làm ảnh hưởng tới tín hiệu ra. Để giữ cho sự phát nhiệt tự thân nhỏ, nên chọn điện áp nguồn cung cấp không quá lớn. Hình 3.39 giới thiệu sơ đồ ứng dụng AD 590 có tín hiệu đầu ra là dòng điện 1 [$\mu A / ^\circ K$] hay là điện áp 1 [$mV / ^\circ K$].



Hình 3.39 – Sơ đồ ứng dụng cảm biến nhiệt AD 590 (hãng Analog Devices):

Hãng sản xuất linh kiện đã kiểm chuẩn xuất xưởng các cảm biến nhiệt trong một phạm vi dung sai nhất định. Song người sử dụng cũng có thể tiếp tục giảm sai số cho linh kiện đã chọn bằng cách dùng các biện pháp mạch. Trong hình 3.32b giới thiệu sơ đồ mà trong đó có chiết áp *trimmer* tinh chỉnh cân-bằng-một-điểm đơn giản. Cân-bằng-một-điểm có nghĩa là việc cân bằng chỉ thực hiện ở một điểm đo. Các phần tử cảm biến nhiệt này cũng cần một thời gian nhất định mới tiếp nhận được những thay đổi nhiệt độ môi trường. Hằng số thời gian τ được xác định theo quá trình biến thiên dạng hàm mũ e nằm trong khoảng 0,6 [s] khi gắn trực tiếp lên bề mặt nhôm (như vỏ động cơ ô-tô, xe máy, ...), ở trong dầu thì cỡ 1,4 [s], trong không khí lạng thì bằng 60 [s].

Có thể chỉ thị trị số đo theo đơn vị [$^{\circ}\text{C}$], khi đó giá trị dòng phải trừ đi 273,2 [μA]. Nhà sản xuất đưa ra các dạng máy đo ba khối thành phần dùng đo nhiệt độ, được chuẩn định thang đo cả cho nhiệt độ Celsius lẫn thang Kelvin một cách đơn giản thuận tiện.

Một vi mạch khác, loạt AD7414 (Analog Devices), là một hệ kiểm tra nhiệt độ số hoàn toàn. Trên một vi mạch nhỏ, 6 chân, nó có một cảm biến nhiệt, bộ chuyển đổi ADC 10-bit, và giao diện nối tiếp. Nó cũng có thể lập trình được với giới hạn nhiệt độ cao và thấp; một chân ra dùng để chỉ thị khi vượt ngưỡng giới hạn đã lập trình.

Vi mạch cảm biến bán dẫn LM35. Các vi mạch IC cảm biến nhiệt độ có nhiều cấu hình khác nhau. Dạng thông dụng nhất là loạt LM34 và LM35. Vi mạch LM34 tạo tín hiệu điện áp ra tỷ lệ với nhiệt độ Fahrenheit, còn vi mạch LM35 có dấu ra tỷ lệ với nhiệt độ Celsius. Vi mạch LM35 là một vi mạch cảm biến nhiệt rất thuận tiện bởi điện áp ra tương ứng trực tiếp nhiệt độ Celsius. Một số vi mạch, ví như LM135, cho điện áp ra theo độ Kelvin. Một độ Kelvin hay Celsius biểu diễn cùng một khoảng nhiệt độ, nhưng thang đo Kelvin bắt đầu từ nhiệt độ 0 tuyệt đối, tức là 273 $^{\circ}\text{C}$ dưới điểm đóng băng.

Cảm biến bán dẫn LM35 là loại dùng đo nhiệt độ theo thang đo Celsius trong phạm vi -55 đến +150 [°C]. Độ chính xác ở 25 [°C] là ±1,5 độ, ở đoạn đầu và cuối khoảng đo thì độ chính xác là ±2 độ. Độ tuyến tính trong phạm vi nhiệt độ làm việc có sai lệch khoảng 0,5 độ. Tín hiệu ra của phần tử cảm biến là 10 [mV/°K]; điện áp làm việc là trong khoảng 4 tới 30 [V]. Cảm biến LM35 không đòi hỏi các biện pháp chỉnh định cân bằng. Sơ đồ ứng dụng khi chỉ dùng đo nhiệt độ dương (trên 0 [°C]) thì đơn giản (hình 3.40a). Để đo được cả nhiệt độ dương và nhiệt độ âm thì cần có thêm nguồn điện áp âm (hình 3.40b).

Điện áp ra của LM35 tỷ lệ thuận với °C, có nghĩa là:

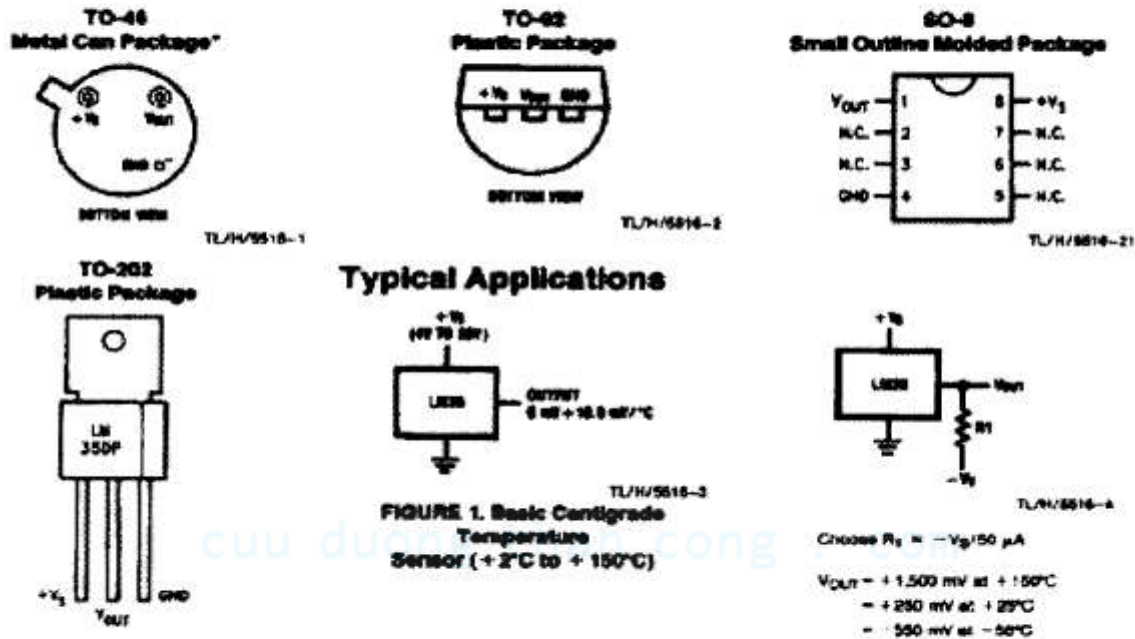
$$V_{out} = 10[mV/°C].$$

Đẳng thức này nêu lên rằng đối với mỗi độ gia tăng nhiệt độ, điện áp ra tăng lên 10[mV]. Lưu ý rằng có ba cổng terminals tích cực: nguồn cung cấp V_S , đất, và V_{out} .

	$T, [^{\circ}C]$ $U_A, [mV]$ + 2 + 20 + 25 + 250 + 150 + 1500 a). Phạm vi đo: (+2 ... +150) [°C]		$T, [^{\circ}C]$ $U_A, [mV]$ + 150 + 1500 + 25 + 250 - 55 - 550 b). Phạm vi đo: (-55 ... +150) [°C]
--	---	--	--

Hình 3.40 – Sơ đồ nguyên lý ứng dụng cảm biến bán dẫn LM 35 (hãng National Semiconductor).

Hình 3.41 giới thiệu các dạng kết cấu vỏ vi mạch LM35. Loại vi mạch LM35 có sẵn dạng chế xuất vỏ bọc kín TO-46 kiểu transistors, còn các loại LM35C, LM35CA, và LM35D được chế sẵn dạng transistors có vỏ chất dẻo. Loại LM35D cũng có chế xuất dạng lắp ráp bề mặt 8-chân và dạng vỏ chất dẻo TO-202.

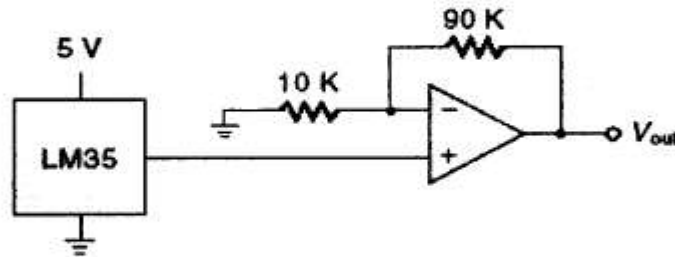


Hình 3.41 – Vi mạch cảm biến nhiệt LM35
(Courtesy of National Semiconductor).

Ưu điểm của vi mạch cảm biến nhiệt LM35:

- Được hiệu chuẩn trực tiếp theo nhiệt độ Celsius.
- Hệ số thang đo tuyến tính $+10,0[mV/^{\circ}C]$.
- Độ chính xác được bảo hành $0,5[^{\circ}C]$ ở $+25[^{\circ}C]$.
- Đặc tuyến phẳng trên suốt phạm vi nhiệt độ -55 tới $+150[^{\circ}C]$.
- Phù hợp cho những ứng dụng điều khiển xa.
- Giá thành thấp do tinh chỉnh ngay trong giai đoạn gia công nền wafer.
- Hoạt động với nguồn cung cấp từ 4 tới $30[V]$.

- Dòng tiêu thụ nhỏ hơn $60[\mu A]$.
- Độ phi tuyến điển hình chỉ cỡ $\pm 1/4[^\circ C]$.
- Trở kháng ra thấp, $0,1 \Omega$ đối với tải $1[mA]$.



Hình 3.42 – Mạch cảm biến nhiệt độ dùng IC (ví dụ 3.5).

Ví dụ 3.5. Cấu trúc một cảm biến nhiệt độ dùng vi mạch LM35 có những thông số sau:

Phạm vi: $5-100[^\circ C]$.

Nguồn cung cấp: $5[V]$.

Điện áp ra: $0,1[V/^\circ C]$.

Giải. Phạm vi nhiệt độ đo theo yêu cầu là không vấn đề, bởi vì mạch LM35 có phạm vi hoạt động từ -55 tới $+150^\circ C$. Bài toán quy lại chỉ còn đặc trưng mạch và khuếch đại đầu ra cho phù hợp với những đặc tính yêu cầu.

Bởi vì phạm vi nhiệt độ là dương, ta có thể dùng sơ đồ mạch đơn giản trong hình 3.40a, sử dụng nguồn $5V$ làm điện áp cung cấp.

Các đặc tính yêu cầu cũng cho $0,1[V]=1[^\circ C]$, lớn gấp 10 lần điện áp ra của vi mạch LM35. Yêu cầu này có thể đáp ứng bằng mạch op-amp minh họa trên hình 3.42. Độ khuếch đại của op-amp có thể đặt định bằng 10 bằng cách lựa chọn điện trở thích hợp:

$$Gain = A = \frac{R_f}{R_o} + 1 = \frac{90[k\Omega]}{10[k\Omega]} + 1 = 10$$

Còn dạng vi mạch cảm biến nhiệt nữa là TMP01 (Analog Devices), được thiết kế đặc biệt cho vi mạch chip đơn nhiệt kế. Ba điện trở ngoài thiết lập điểm đặt ngưỡng nhiệt độ trên và nhiệt độ dưới. Các đầu ra của TMP01 có thể trực tiếp dẫn động các relay để tắt mở máy lạnh hay máy nóng khi cần.

3.4 – Cảm biến bức xạ.

3.4.1 – Khái niệm bức xạ nhiệt.

Cơ sở phương pháp đo nhiệt độ bằng bức xạ của vật thể là sự phụ thuộc giữa mật độ phổ năng lượng bức xạ và nhiệt độ của vật đen tuyệt đối, biểu thị theo định luật Planck về sự phân bố theo nhiệt độ của mật độ phổ bức xạ $\epsilon_{\nu,T}$ hay $\epsilon_{\lambda,T}$ của bức xạ cân bằng do một đơn vị diện tích bề mặt của vật đen tuyệt đối phát ra trong góc khối 2π :

$$\epsilon_{\nu,T} = \frac{2\pi h}{c^2} \cdot \frac{\nu^3}{\exp(h\nu/kT - 1)}$$

- tính theo tần số ν bằng đơn vị, hay: (3.25)

$$\epsilon_{\lambda,T} = \epsilon_{\nu,T} \frac{c}{\lambda^2} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp(hc/\lambda kT - 1)}$$

- tính theo bước sóng λ bằng đơn vị; (3.26)

ở đây: h – hằng số Planck – $h = (6,626196 \pm 0,00050) \cdot 10^{-34}$ [J.s], hay $\hbar = \frac{h}{2\pi} = (1,0545919 \pm 0,0000080) \cdot 10^{-34}$ [J.s] – hằng số

liên hệ năng lượng E của một photon với tần số ν của nó; k – hằng số Boltzmann, $k = (1,380622 \pm 0,000059) \cdot 10^{-23}$ [J/độ]; c – vận tốc ánh sáng trong chân không, $c = 299792$ [km/s] $\approx 3 \cdot 10^5$ [km/s]; ν - tần số ánh sáng; λ - bước sóng ánh sáng.

Biểu thức (3.26) có thể biến đổi thành:

$$\epsilon_{\lambda,T} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{\exp(C_2/\lambda T - 1)} ; \quad (3.27)$$

trong đó: $C_1 = 2\pi hc^2$; $C_2 = hc/k$ - là các hằng số.

Trong giải phổ ánh sáng $\lambda T \ll C_2$, công thức Planck (3.27) có thể tính gần đúng:

$$E_{\lambda,T} = C_1 \lambda^{-5} \exp(-C_2/\lambda T). \quad (3.28)$$

Còn trong giải phổ $\lambda T \gg C_2$, thì công thức Planck ứng với công thức định luật Rayleigh–Jeans – định luật gần đúng về sự phân bố phổ năng lượng theo bước sóng, trên phổ bức xạ của vật đen tuyệt đối ở nhiệt độ T . Theo đó, độ chói năng lượng của vật đen ứng với bước sóng λ ở nhiệt độ T :

$$E_{\lambda,T} = \frac{2c}{\lambda^4} kT = \frac{C_1}{\pi C_2} \frac{T}{\lambda^4}. \quad (3.29)$$

Mật độ phổ năng lượng bức xạ của các vật thực $E_{\lambda,T}$ khác với mật độ phổ năng lượng bức xạ của vật đen tuyệt đối $\varepsilon_{\lambda,T}$:

$$E_{\lambda,T} = \zeta_\lambda \varepsilon_{\lambda,T}; \quad (3.30)$$

ở đây, ζ_λ - hệ số phổ bức xạ: hàm của bước sóng bức xạ λ và nhiệt độ T , xác định cho từng trường hợp cụ thể (vì nói chung, không thể xác định được tất cả các yếu tố ảnh hưởng tới năng suất bức xạ của bề mặt vật thể).

Hàm thực nghiệm $\zeta_\lambda = f(\lambda, T)$ ứng dụng trong nguyên lý hoạt động của các dụng cụ đo nhiệt độ bức xạ.

3.4.2 – Hoả kế bức xạ.

Các máy đo bức xạ nhiệt thông dụng thường được gọi là hoả quang-kế. Có ba loại hoả quang kế:

- Hoả quang kế bức xạ toàn phần;
- Hoả quang kế bức xạ một phần (phổ); phân biệt theo ba phương án thực hiện:
 - Đo trực tiếp tín hiệu điện trên bộ cảm quang;

- Theo sơ đồ bù với nguồn bức xạ chuẩn có nhiệt độ thay đổi được. Tín hiệu điện của bộ cảm quang tỷ lệ với hiệu quang năng của vật đo và mẫu thử, dùng để hiệu chỉnh nhiệt độ bức xạ của mẫu thử cho đến khi quang năng của hai nguồn bằng nhau.
- Theo sơ đồ bù, nhưng nhiệt độ nguồn bức xạ mẫu giữ cố định. Việc cân bằng quang năng của hai kênh so bởi các phần tử hấp thụ đưa vào giữa nguồn mẫu và bộ thu.
- Hoả quang kế tỷ lệ phổ; cũng được thực hiện dưới ba dạng:
 - Tỷ lệ quang năng ở hai phổ được xác định trực tiếp theo tín hiệu điện của cảm biến;
 - Xác định tỷ lệ quang năng ở phổ khác nhau theo vị trí của phần tử hấp thụ đưa vào một trong hai kênh đo;
 - Bức xạ ở hai giải phổ của vật đo được so sánh với bức xạ mẫu.

Sai số đo lường trong các cảm biến bức xạ. Gồm sai số phương pháp và sai số dụng cụ đo.

Sai số phương pháp ở đây là do ảnh hưởng các thông số quang năng ở khoảng cách nhất định so với vật thể bị ảnh hưởng không chỉ do nhiệt độ mà còn do hệ số bức xạ của bề mặt vật cần đo và sự hấp thụ của môi trường trung gian. Có thể coi đo nhiệt độ bằng các hoả kế bức xạ là phương pháp gián tiếp đo nhiệt độ, bởi vì ngoài nhiệt độ của vật đo, còn có các yếu tố khác ảnh hưởng lên thông số bức xạ:

- Tính chất của vật bức xạ (tính chất quang học, nhiệt trở ...), trạng thái pha, độ nhẵn bề mặt, lớp oxyt trung gian trên bề mặt ... Cách khắc phục sự thay đổi dòng bức xạ do nguyên nhân này là đưa vào các tính toán hệ số phổ bức xạ của vật thực ζ_λ ứng với trường hợp vật thực cụ thể đó. Hệ số $\zeta_\lambda < 1$.

- Sự hấp thụ của môi trường trung gian. Có thể khắc phục ảnh hưởng của môi trường trung gian bằng cách đưa vào tính toán hệ số xuyên thấu $\tau_{\lambda m}$ của kính lọc. Hệ số $\tau_{\lambda m} < 1$.
- Sự phản xạ từ vật đối với ánh sáng ngoài. Có thể tính tới ảnh hưởng của nguồn ánh sáng ngoài bằng cách đưa vào tính toán hệ số tương đương $(\epsilon_{\lambda, T})_{eqv}$ của bức xạ, do nhiệt độ hoả kế đo được không phải là nhiệt độ thực, mà là nhiệt độ quy ước, gọi là nhiệt độ bức xạ, nhiệt độ chói, hay nhiệt độ màu khi sử dụng hoả quang kế thu bức xạ trong giải phổ rộng, phổ hẹp hay trong nhiều vạch phổ, trong khi thông thường thì các hoả quang kế được khắc vạch theo nguồn bức xạ mẫu với ϵ_0 đã biết.

Sai số dụng cụ do độ chính xác đo lường các thông số dòng bức xạ. Sai số tương đối của hoả quang kế thông dụng là:

$$\delta_M = \frac{\lambda T}{C_2} \delta_F = \frac{1}{n} \delta_F; \quad (3.31)$$

ở đây, δ_F - sai số đo dòng bức xạ.

3.4.3 – Hoả kế hồng ngoại IR *Infrared Pyrometry*.

Mọi đối tượng phát xạ năng lượng hồng ngoại tương ứng nhiệt độ của chúng trên nhiệt độ không tuyệt đối (0 độ Kelvin). Có một sự tương quan trực tiếp giữa năng lượng hồng ngoại mà một đối tượng phát xạ và nhiệt độ của nó.

Các cảm biến IR đo năng lượng bức xạ hồng ngoại phát xạ từ đối tượng ở bước sóng 4-20 micron và chuyển đổi chỉ số đo bức xạ thành điện áp. Công nghệ IR điển hình sử dụng một thấu kính để hội tụ năng lượng bức xạ lên pile nhiệt điện *thermopile*. Điện áp ra được khuếch đại và được chuẩn hoá để cung cấp chỉ thị số đo nhiệt độ.

Các yếu tố ảnh hưởng tới độ chính xác của cảm biến IR là:

- Hệ số phản xạ *thermopile* – số đo tính năng vật liệu phản xạ năng lượng bức xạ hồng ngoại.

- Hệ số truyền *transmissivity* – số đo tính năng vật liệu truyền dẫn năng lượng hồng ngoại; và:
- Độ phát xạ *emissivity* – tỷ lệ năng lượng mà một đối tượng phát xạ trên năng lượng phát xạ toàn phần từ một nguồn bức xạ bề mặt được đo.

Một đối tượng có độ phát xạ bằng 0 là vật phản xạ hoàn toàn, trong khi đối tượng có độ phát xạ bằng 1,0 sẽ phát xạ (hoặc hấp thụ) 100% năng lượng hồng ngoại được cung cấp tới nó. (Một độ phát xạ bằng 1,0 được gọi là “vật đen” và không tồn tại trong thế giới thực).

Hoả kế hồng ngoại IR, đasố là ở dạng dụng cụ xách tay, nguồn nuôi battery, các bộ cảm tay cung cấp chỉ thị số đo nhiệt độ dạng số. Chúng cũng được chế xuất dạng thiết bị lắp đặt cố định, có thể dùng với cáp quang để cảm biến từ xa. Các tín hiệu ra có thể dùng để điều khiển bộ chỉ thị hay mạch điều khiển vòng kín (có phản hồi).

Điều quan trọng là phải sử dụng cảm biến với quan niệm đúng đối với ứng dụng cụ thể cần đo. Để đảm bảo chắc chắn độ chính xác của các chỉ số đo, đối tượng đo phải được nhìn nhận hoàn toàn trên cơ sở của một hệ đo lường hoàn chỉnh. Hệ thống đo lường sẽ xác định phạm vi nhiệt độ của tất cả các dụng cụ thiết bị trên quan điểm toàn cảnh kể cả phần hậu trường.

Một số yếu tố có thể có ảnh hưởng đối với vận hành của cả dụng cụ thiết bị lẫn hệ thống nói chung. Các chất bụi bặm trong khí quyển giữa cảm biến và mục tiêu đo sẽ hấp thụ hay tán xạ một số năng lượng bức xạ và gây nên những biến động lớn trong phép đo. Các đường cáp quang có thể dùng để giảm khoảng cách giữa cảm biến và mục tiêu *target* để giảm thiểu sai số, nhưng khi đó phải tính đến cả những thuộc tính nhiệt độ môi trường của đường cáp.

Ưu điểm:

- Cho phép thực hiện phép đo không tiếp xúc các đối tượng chuyển động hoặc các vật liệu độc hại nguy hiểm.

- Có thể dùng phối hợp với cáp quang để thực hiện cảm biến từ xa.
- Phạm vi nhiệt độ điển hình là từ -18 tới $+538^{\circ}C$ (từ 0 tới $1000^{\circ}F$).
- Độ chính xác $\pm 1\%$.

Nhược điểm:

- Độ chính xác có thể bị ảnh hưởng bởi các yếu tố bề mặt.
- Trường ngắm phải phù hợp với kích thước mục tiêu.
- Nhiệt độ môi trường có thể ảnh hưởng tới chỉ số đo.
- Bộ lọc bức xạ với bước sóng phù hợp phải thích hợp với ứng dụng cụ thể.
- Giá thành cao (200\$+), thậm chí có thể còn cao hơn nếu đòi hỏi mạch điều khiển.
- Việc hiệu chuẩn khó khăn hơn và đắt tiền hơn.
- Đòi hỏi các bộ phận thành phần hoặc mạch phụ trợ để điều khiển tải ứng dụng.
- Các chất bụi bặm, chất khí hoặc hơi nước trong môi trường có thể ảnh hưởng tới độ chính xác của hệ đo.

cuu duong than cong . com

BÀI 5

KỸ THUẬT CẢM BIẾN VỊ TRÍ VÀ KHOẢNG CÁCH.

Chương 4

CẢM BIẾN VÀ ĐO CÁC CHUYỂN VỊ VẬT THỂ. PHẦN 1.

Mục tiêu bài này tập trung vào những khái niệm cơ bản và kỹ thuật cảm biến vị trí, khoảng cách và các chuyển dịch vật thể trong không gian (phần 1) và thời gian (phần 2).; các ứng dụng trong đo lường, định vị và điều khiển – gồm 2 phần của chương 4.

Nội dung cơ bản mà SV phải nắm được ở bài này là những vấn đề trọng tâm sau:

- Khái niệm đại cương về vị trí và chuyển vị vật thể và những đặc điểm xác định chúng. Các loại phần tử cảm biến ứng dụng trong kỹ thuật đo lường điều khiển định vị, kết cấu, hoạt động chức năng, các đặc tính kỹ thuật, đặc điểm ứng dụng.
- Các vấn đề ứng dụng thực tiễn các phần tử cảm biến và điều khiển định vị vật thể trong công nghiệp để có nhận thức và rèn kỹ năng tổng hợp, thiết kế và chế tạo hệ thống cụ thể trong thực tế môi trường ứng dụng.
- Bài 5 tập trung trọng tâm là kỹ thuật cảm biến vị trí, khoảng cách và các chuyển dịch vật thể trong không gian (phần 1) bằng các phần tử cảm biến ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp và dân dụng.

Thời lượng bài giảng là 04 tiết/45 tiết lên lớp theo chương trình môn học là 03TC (45 tiết) và 04 tiết tự nghiên cứu.

4.1 – Khái niệm chung.

4.1.1 – Đại cương về chuyển vị vật thể.

Việc định vị vị trí, xác định kích thước hình học của vật thể trong bố trí không gian vật chất, cũng như sự chuyển dịch của nó trong không gian là một trong những nhiệm vụ của kỹ thuật thông tin đo lường và điều khiển. Các thiết bị sơ cấp nhằm thực hiện nhiệm vụ đó là các cảm biến chuyển vị.

Trong phần chương mục này chúng ta coi những vấn đề liên quan tới vị trí, kích thước và khoảng cách (không gian), chuyển dịch (chuyển động trong không gian theo thời gian, với vận tốc và gia tốc nào đó) của các vật thể là sự chuyển vị của vật thể (đứng yên hay trong vận động). Mặc dù ở đây chúng ta chú trọng các phương pháp và phương tiện kỹ thuật xác định những đại lượng này trong kỹ nghệ, tuy nhiên, để có những quan niệm tư duy kỹ thuật ứng dụng, thiết nghĩ cũng nên nhắc lại một số khái niệm vật lý cơ bản liên quan đến chuyển vị vật thể.

Trước tiên, đã nói đến vị trí và chuyển dịch vật thể trong không gian và thời gian. Đó chính là hình thức tồn tại của vật chất và vận động. Các quá trình vật lý luôn luôn xảy ra trong không gian ba chiều và trong thời gian. Không gian và thời gian không tồn tại ngoài vật chất và không thể độc lập với vật chất. Khái niệm không gian biểu hiện sự song song tồn tại và tách rời của các vật thể, vị trí và sự bố trí của chúng đối với nhau. Các đặc trưng không gian là: tọa độ vị trí của vật thể, khoảng cách giữa các vật thể, góc giữa các phương. Khái niệm thời gian biểu hiện tính trước sau và sự tiếp nối của các hiện tượng (tính nhân quả *causal*). Các đặc trưng thời gian là thời điểm tại đó hiện tượng xảy ra, khoảng kéo dài của hiện tượng (quá trình).

Chuyển động của vật thể trong không gian theo thời gian là đối tượng nghiên cứu của cơ học, một ngành quan trọng và rất rộng lớn của vật lý. Chuyển động cơ học là sự biến thiên theo thời gian của vị

trí tương đối của các vật thể hoặc các phần khác nhau của cùng một vật thể.

Vận tốc là đại lượng vector đặc trưng cho phương, chiều và sự nhanh chậm của chuyển động. Tại mỗi thời điểm vận tốc \vec{v} được định nghĩa là:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}; \quad (4.1)$$

trong đó: $\Delta \vec{r}$ là số gia của bán kính vector của vật thể vận động sau khoảng thời gian Δt .

Là đại lượng vector, vận tốc có độ lớn và có hướng; hướng vận tốc là hướng tiếp tuyến với quỹ đạo chuyển động, cùng chiều với chuyển động. Về độ lớn, vận tốc có trị số bằng:

$$v = \frac{ds}{dt}; \quad (4.2)$$

trong đó ds là quãng đường vật thể đi được sau khoảng thời gian nhỏ dt . Trong hệ SI đơn vị vận tốc là [m/s].

Tốc độ là độ lớn của vector vận tốc. Tốc độ tức thời đặc trưng cho sự nhanh chậm của chuyển động tại từng thời điểm. Tốc độ trung bình đặc trưng cho sự nhanh chậm trong một khoảng thời gian. Về trị số, tốc độ bằng quãng đường vật thể đi được trong một đơn vị thời gian. Tốc độ ánh sáng trong chân không là đại lượng trị số vận tốc lớn hơn vận tốc của mọi chuyển động và mọi quá trình trong thế giới thực. Tốc độ ánh sáng trong chân không là tốc độ giới hạn mà ngoài photon không vật nào đạt tới được. Đó là một hằng số vũ trụ, không phụ thuộc tốc độ nguồn và máy thu, không phụ thuộc tần số bức xạ. Kỹ thuật thông thường xác định $c = 299\,792\,458 \pm 1$ [m/s].

Gia tốc là đại lượng vector đặc trưng cho sự biến thiên của vector vận tốc theo thời gian. Vector gia tốc bằng đạo hàm của vector vận tốc theo biến thời gian lấy tại điểm đó:

$$\bar{a} = \frac{dv}{dt} \quad (4.3)$$

Theo định luật hai Newton, gia tốc của chất điểm tỷ lệ với lực tác dụng và có phương trùng với phương tác dụng; do đó nó được phân thành hai thành phần theo hai phương tiếp tuyến và pháp tuyến (hướng tâm) với quỹ đạo chuyển động, tương ứng gọi là gia tốc tiếp tuyến hay gia tốc pháp tuyến. Trong hệ SI, gia tốc được đo bằng $[m/s^2]$.

Trong các đại lượng gia tốc, ngoài gia tốc tiếp tuyến, gia tốc hướng tâm (pháp tuyến), ta cũng biết gia tốc trọng trường (gia tốc rơi tự do). Đó là gia tốc mà trọng lực truyền cho một chất điểm tự do. Gia tốc rơi tự do tại mỗi điểm phụ thuộc vào độ cao so với mặt biển, vĩ độ địa lý và đặc điểm địa chất vùng đó. Thông thường, nếu bỏ qua các sai số, người ta tính gia tốc trọng lực tiêu chuẩn bằng $g = 9,80665 [m/s^2]$.

Trong kỹ thuật người ta phân biệt các dạng chuyển động thẳng (tịnh tiến) và chuyển động quay. Trong chuyển động tịnh tiến, tất cả các điểm của vật rắn luôn luôn có cùng một vector vận tốc và vạch nên những quỹ đạo như nhau (không nhất thiết là quỹ đạo thẳng). Chuyển động quay là một trong những dạng chuyển động đơn giản nhất của vật rắn. Chuyển động quay được xác định bằng vector vận tốc góc $\bar{\omega}$, có độ lớn bằng tốc độ quay ω , có phương nằm trên trục quay và có chiều xác định theo quy tắc vịn nút chai. Lý thuyết chuyển động quay có nhiều ứng dụng trong cơ học chế tạo máy và nguyên lý cơ cấu máy, trong lý thuyết con quay hồi chuyển hay vật lý thiên thể ... Đối với lưu chất (chất lỏng hay chất khí) dạng chuyển động tương ứng là chuyển động xoáy có kèm theo sự quay của các hạt môi trường quanh các trục quay tức thời đi qua chính các hạt ấy. Khi chất lỏng và khí chuyển động trong các ống hay vòng qua các vật thể rắn (cánh máy bay, cánh tuabin, ...) thì dù là chảy tầng hay chảy rối thì ở các lớp biên cũng đều có chuyển động xoáy.

4.1.2 – Phân loại các phần tử cảm biến chuyển vị.

Như đã nêu, phân biệt các dạng chuyển dịch thẳng (*linear*-, chuyển động thẳng theo một hướng), chuyển dịch góc (*angular*-, chuyển động xoay quanh một tâm điểm) và chuyển dịch hỗn hợp. Các chuyển dịch thẳng và chuyển dịch góc có thể xác định bằng một phần tử cảm biến, nhưng chuyển dịch hỗn hợp lại cần đến nhiều phần tử hơn.

Để xác định các chuyển dịch thẳng có những phần tử cảm biến như:

- cảm biến chiết áp *potentiometer* – phần tử biến trở;
- cảm biến điện dung – phần tử biến dung;
- cảm biến điện cảm – phần tử biến cảm;
- cảm biến từ tính và biến áp đo;
- cảm biến quang;
- cảm biến biến dạng đàn hồi.

Các phương pháp đo chuyển dịch góc chủ yếu biến thể từ những phương pháp đo khoảng cách hay khoảng dịch chuyển, chỉ khác là có sự phụ thuộc vào góc quay chứ không phải là chuyển động thẳng, tuyến tính. Các phần tử cảm biến chuyển dịch góc có thể là:

- cảm biến chiết áp *potentiometer*;
- cảm biến điện dung – phần tử biến dung;
- cảm biến điện cảm – phần tử biến cảm;
- cảm biến quang.

Các cảm biến biến dạng đàn hồi không trực tiếp đo chuyển dịch góc; trong một số trường hợp, phải biến thể mới đo được các chuyển dịch góc.

Cũng có thể phân loại các cảm biến chuyển vị theo nguyên lý biến đổi:

- Phần tử cảm biến tham số;
- Phần tử cảm biến vật lý.

Các phần tử cảm biến như biến trở, biến dung hay biến cảm ... là những cảm biến biến đổi các đại lượng thông số trạng thái vật lý của quá trình công nghệ (ví dụ như vị trí, chuyển dịch – kích thước, khoảng cách, ...) thành những thay đổi tham số điện (như điện trở hay điện dẫn, điện cảm hay hồ cảm, điện dung, ...) được gọi chung là các cảm biến tham số (xem thêm Phụ lục 1 – Cơ sở lý thuyết phần tử cảm biến tham số).

Các phần tử cảm biến như cảm biến điện-từ, cảm biến quang hay quang-điện, cảm biến đàn hồi ... là những cảm biến biến đổi các đại lượng chuyển vị vật thể thành những thay đổi thông số vật lý kỹ thuật (trung gian, hoặc sau đó được chuyển đổi thành thông số điện), được gọi chung là các cảm biến vật lý (xem thêm Phụ lục 2 – Phần tử máy điện thông tin).

Phân loại phần tử cảm biến tham số:

- Biến trở *Resistance Transducers*;
- Biến cảm *Inductance Transducers*;
- Biến dung *Capacitance Transducers*.

Việc phân loại khảo sát ở đây chỉ là tương đối. Trong những phần tiếp theo chúng ta sẽ xem xét những phần tử tự động trong hệ đo lường và điều khiển tương ứng với tính năng của chúng trong hệ. Ví như một phần tử cảm biến chuyển vị kiểu biến áp vi sai *Differential-Transformer* cũng có thể xem như ghép hai phần tử biến cảm *Inductance-Transducers*, về một phương diện nào đó.

Kỹ thuật đo chuyển dịch thẳng và chuyển dịch góc cũng được ứng dụng để đo các đại lượng vật lý như tác dụng lực, áp suất, ứng suất, hay độ xoắn (*torsion*) ... và nhất là các ứng dụng trong kỹ nghệ máy công cụ.

4.1.3 – Phương pháp xác định kích thước hình học và chuyển vị.

Khi nhiệm vụ của ta là đo kích thước hình học, chuyển dịch (thẳng hay góc quay) thì việc đầu tiên mà ta nghĩ tới là so sánh trực tiếp với một mẫu chuẩn *etalon* nào đó. Trường hợp đo góc thì mẫu chuẩn có thể là một đĩa khắc vạch *protractor* chính xác với những dấu vạch nằm cách nhau đúng theo giá trị góc đã cho. Đối với kích thước thẳng cũng vậy, ví như dùng thước *metre-rod*. Phép đo này gọi là phép đo trực tiếp *direct* hay là phép đo tuyệt đối *absolute*, bởi kích thước cần đo và mẫu chuẩn được so trực tiếp, mẫu chuẩn có điểm *zero* '0' cố định và cho số liệu giá trị tuyệt đối của số đo. Đồng thời, phương pháp đo này liên quan với việc số hoá *digitizing* kích thước đo, tức là chuyển đổi các kích thước vật lý analog thành các gia lượng *increments*, ví dụ thành millimetre hay độ góc, và cho số đo là số lượng các increments, nhiều ít tùy theo kích thước đo.

Ngoài các phép đo kích thước thẳng hay góc độ, thường phải xác định vị trí. Ví dụ như khi khởi động máy công cụ, có thể cần phải bắt đầu hay tiếp tục gia công vật phẩm từ một vị trí nhất định nào đó. Trong trường hợp này, cũng cần đến các điểm mốc đo tuyệt đối *absolute measurement bases*, bởi chúng cho phép nhận dạng tìm ra mỗi vị trí với một mã tương ứng, ví dụ bằng một bộ ký tự số.

Đối ngẫu với phép đo tuyệt đối là phép đo tỷ đối *relative* hay phép đo gia lượng *incremental*. Theo phương pháp này, số lượng các increments trên một lưới mảnh *grid* (đĩa vạch hay thước vạch) tương ứng với số đo đếm được. Điểm khởi đếm, tức là điểm '0' trên mảnh, có thể chọn một cách ngẫu nhiên vì không có điểm nào khác với điểm nào. Tuy nhiên, trên thực tế, các quá trình đo vị trí theo phương pháp gia lượng lại thường có thêm điểm dấu mốc zero, sao cho máy đếm có thể đặt định điểm '0' tại một vị trí nhất định, và như vậy phép đo chuyển vị thẳng hay chuyển vị góc cũng có thể xác định thêm được vị trí.

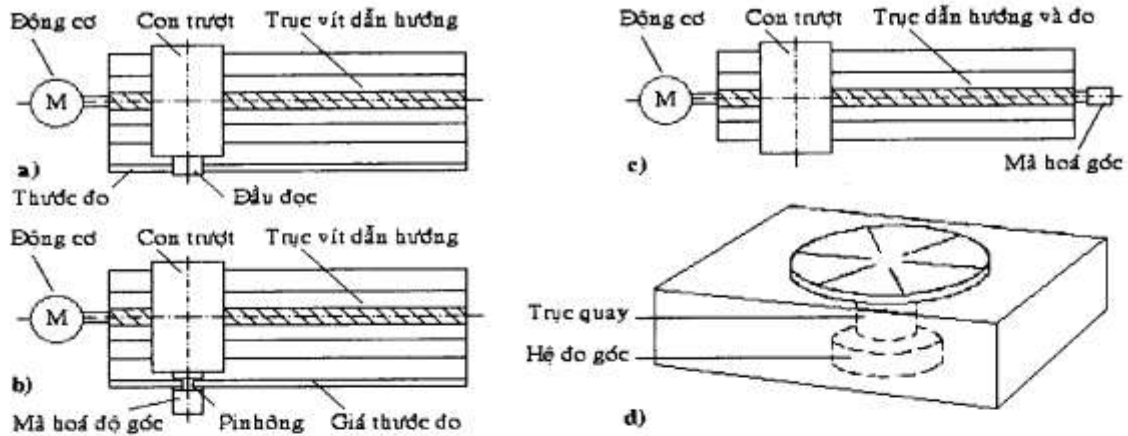
Nếu đem so sánh hai phương pháp đo tuyệt đối và tỷ đối, ta thấy rõ những ưu điểm và nhược điểm của chúng. Phép đo tuyệt đối cho độ an toàn cao hơn về sai số đo và sai số truyền đạt, đặc biệt là khi việc nhận biết sai số có thể thực hiện bằng các tín hiệu thử phụ thêm (như *bits-check-lé*). Một ưu điểm nữa là hệ tuyệt đối có điểm zero cố định, có thể tìm ra khi bị lỗi hay khi máy bị ngắt do sự cố. Những ưu thế này càng nổi bật khi tính phức hợp tăng và do đó mà giá thành cao hơn. Nếu cần thêm phép xác định vị trí thì quá trình đo tuyệt đối phải có bộ tính số *arithmetic unit* để cộng vào hay trừ đi số chuyển vị zero trong trị số đo được.

Các hệ đo gia lượng incremental có đặc trưng là giá thành thấp hơn trong việc nhận biết và truyền đạt dữ liệu kết hợp với việc lựa và dịch điểm zero một cách đơn giản. Tuy nhiên, chúng có nhược điểm là không thể nhận biết tìm ra sai số đo bởi các xung nhiễu cảm ứng và sai số đếm. Trường hợp xảy ra sự cố nguồn cung cấp, hay khi khởi động lại quá trình đo thì sẽ không có thông tin gì về vị trí hiện hữu cả. Phải khởi động phép đo trở lại từ điểm so ban đầu.

Các quá trình đo mà trong đó thực hiện lặp lại tuần hoàn một phạm vi tuyệt đối nhỏ – được gọi là các hệ tuyệt đối tuần hoàn. Một ví dụ điển hình là bộ mã hoá góc quay *Angle Encoder* (xem thêm Phụ lục 2) dùng một đĩa đơn để đo góc lớn hơn 360° , tức lớn hơn một vòng quay. Phải đếm số vòng quay và do đó mà phép đo là gia lượng incremental. Một ví dụ nữa là quá trình đo điện cảm trong máy đo Inductorsyn (xem thêm Phụ lục 2). Ở đây lặp lại một khoảng số đo analog là $2 [mm]$. Nói một cách chính xác, thì trường hợp này vấn đề là các hệ gia lượng incremental có nội suy giữa các số gia increments riêng lẻ.

Nói chung, phép đo dựa trên cơ sở so sánh trực tiếp kích thước đo với một mẫu chuẩn *étalon* nào đó không phải là phương pháp duy nhất. Phép đo chuyển vị cũng có thể thực hiện bằng cách chuyển đổi chuyển động dọc *longitudinal* thành chuyển động quay bằng trục quay

spindle hay trục vít *screw nut* hoặc sử dụng giá đỡ thước đo *rack* và pinhông *pinion* (hình 4.1).



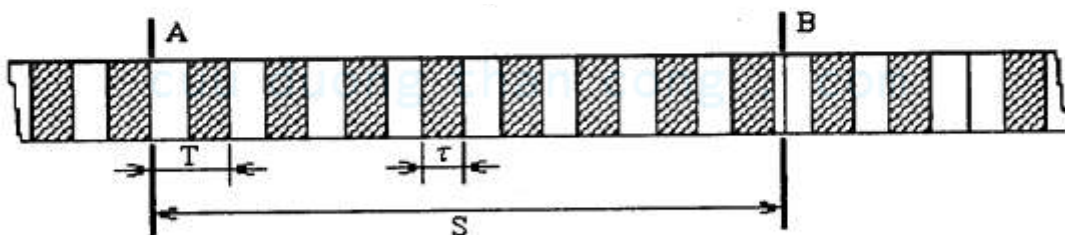
Hình 4.1 – Hệ cảm biến chuyển vị trong kỹ nghệ máy công cụ:

- a). Phần tử đo thẳng, trực tiếp;
- b). Phần tử đo thẳng gián tiếp, dùng giá đỡ và *pinion* pinhông;
- c). Phần tử đo thẳng gián tiếp, dùng trục quay;
- d). Phần tử đo góc trực tiếp.

Trong kỹ nghệ chế tạo máy công cụ, thường không có sự phân biệt rạch ròi phương pháp đo trực tiếp và gián tiếp, bởi trong khi gia công hiếm khi thực sự đo kích thước bản thân vật phẩm. Phép đo kích thước vật phẩm hay sản phẩm thường phải dùng những phương pháp đo khác hơn là đo trực tiếp trên máy gia công, bởi vật liệu, dầu mỡ, chất làm nguội và hình dạng phức tạp của vật phẩm làm trở ngại phép đo trực tiếp. Thay vì đó, người ta thường đo đường trượt gia công. Cả vật phẩm gia công và công cụ đo đều được giữ chặt tại vị trí của chúng bằng dụng cụ kẹp hay mâm cặp mà không bị sai lệch vị thế trong suốt công đoạn gia công. Sự biến dạng vật thể, dụng cụ hay các bộ phận máy khác, đều ảnh hưởng tới độ chính xác gia công, do đó phải được giữ trong một giới hạn nhỏ nhất có thể. Theo đó, phép đo trực tiếp chuyển vị vật thể duy nhất được thực hiện ở đây là đo trực tiếp các bộ phận máy chuyển động.

Phép đo gia lượng được ứng dụng rộng rãi trong các thiết bị đo lường công nghệ ngày nay theo kỹ thuật số (như các máy CNC, robotic công nghiệp, ...). Cho nên thiết nghĩ ở đây chúng ta đi sâu hơn một chút về cơ sở kỹ thuật của phép đo gia lượng incremental.

Cơ sở phép đo gia lượng kỹ thuật số Digital Incremental Measurement Base. Thuật ngữ “digital” xuất phát từ gốc tiếng latine “digitus” – có nghĩa là “ngón tay”. Đó là cơ sở thoát đầu của phép đếm, đếm ngón tay hay đếm đốt ngón tay – dùng đến bây giờ. Tuy nhiên, điều đó cũng có nghĩa là số đếm đã được chia ra thành những phần hay những gia lượng bằng nhau, có sẵn và đếm được. Để làm được phép đếm số gia lượng như vậy, cần có hai bước: phân chia (hay lượng tử hoá) thành các giai lượng và đếm. Việc lượng tử hoá số được thực hiện ngay khi chế ra vật thể dụng cụ đo – ví như thước chia vạch hay cán cân. Việc đếm chỉ là một phần của phép đo. Phép đo gia lượng là quá trình đo theo kỹ thuật số đơn giản nhất theo nguyên lý đo lường vật thể, thu nhận và xử lý dữ liệu đo. Bước tiến tiếp theo là tạo khả năng lựa chọn điểm không *zero* ‘0’ tùy ý, bằng cách đặt định *preset* hay tái định *reset* bộ đếm khi toán tính đòi hỏi chỉ thị số tuyệt đối. Nhược điểm trầm trọng là một khi mất nguồn điện cung cấp thì có thể bị mất dữ liệu về vị trí điểm dẫn xuất. Ở đây nhược điểm này được hạn chế nhờ có bộ nhớ cố định EEPROM rẻ tiền. Ngày nay, an toàn dữ liệu truyền dẫn là cả vấn đề, việc sử dụng ngày càng nhiều các hệ gia lượng là một minh chứng.



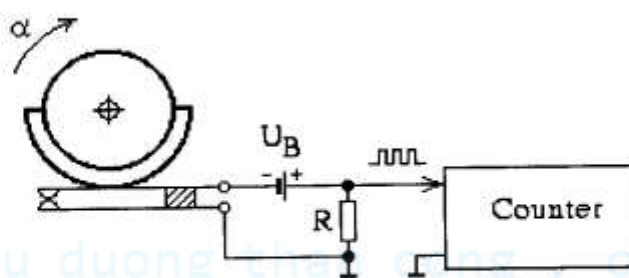
Hình 4.2 – Lượng tử hóa chiều dài đo.

S – chiều dài; T – chu kỳ phân đoạn; τ – giai lượng.

Thước đo dạng mảnh bao gồm các phân đoạn có đặc tính vật lý khác nhau (hình 4.2), ví như những vùng sáng-tối trong hệ quang. Khoảng cách giữa từng phân đoạn riêng lẻ là khoảng T trên thang đo. Đếm số phân đoạn nằm dọc theo chiều dài đo A-B sẽ cho trị số ứng với vị trí của vật. Đo vật thể dưới dạng thước mảnh hay thước vạch là bộ nhớ nhị phân *read-only* ROM được kết nối giao diện theo hàm chức năng chuyển vị thẳng hay chuyển vị góc. Người ta có thể nghĩ ra nhiều nguyên lý vật lý thích ứng với hai trạng thái của bộ nhớ này và có thể tạo được giao diện kết nối cho nó. Tuy nhiên, trong vô số thiết kế ở lĩnh vực này chỉ có vài nỗ lực đem lại kết quả (xem bảng 4.1).

Bảng 4.1 – Thuộc tính cơ sở phép đo và quá trình trích mẫu.

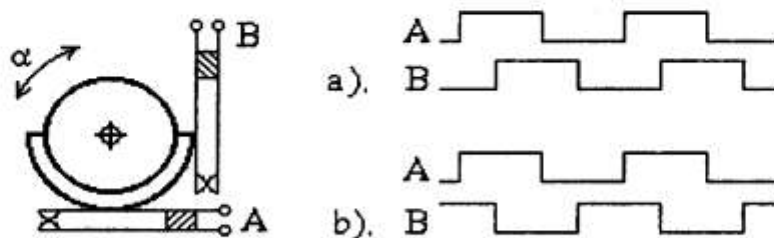
Cơ sở phép đo	Quá trình trích mẫu
Biến số điện dẫn:	Trích mẫu cơ học bằng tiếp điểm; Lò xo hay chốt đàn hồi; Trích mẫu điện dung;
Biến số từ tính	Trích mẫu bằng linh kiện tần số giới hạn trong mạch dao động.
Biến số màu sắc	Đầu dò hiệu ứng Hall hoặc đầu dò có lõi ferrite.
Biến số độ trong suốt	Trích mẫu quang học bằng tia phản xạ.
Biến số độ dày	Trích mẫu quang học bằng tia xuyên thấu. Đo sai pha giữa các chùm tia.



Hình 4.3 – Hệ đo chuyển dịch đơn giản (một xung/vòng).

Ví dụ điển hình là phép đo chuyển vị góc đơn giản (hình 4.3). Một bánh xe cam làm contact tiếp điện mỗi vòng quay, tạo một giai lượng xung đưa tới bộ đếm cộng. Chừng nào chưa phải phân biệt hướng quay thì dùng cơ cấu đo này tạo ra một chuỗi xung đơn giản, có

thể thực hiện phép đo một cách chính xác. Nguyên lý này được ứng dụng trong các hệ đếm hình như các máy đếm sản phẩm chỉ chạy theo một chiều, trong đó chuyển động thẳng có thể chuyển thành chuyển động quay (ví dụ bằng bánh xe ma sát). Việc đặt định bộ đếm có thể bắt đầu từ zero cho tới khi đạt số đặt trước, khi đó sẽ tiếp nhận tín hiệu (hoặc mã lệnh theo giao thức định sẵn) và cuối cùng bộ đếm sẽ tự động trả về zero, khởi động lại quá trình. Ví dụ điển hình loại này là máy cửa tự động, cửa xẻ súc gỗ thành những phần có chiều dài hay độ dày nhất định. Cũng có thể đặt định bộ đếm ngược, tức là đặt máy ở trị số nhất định khi bắt đầu chạy, ngừng quá trình đếm khi đạt trị số zero và cuối cùng đặt lại trị số đặt trước ban đầu. Tuy nhiên, khi đổi hướng quay nếu phải thực hiện phép đo chính xác y như vậy thì lại cần đến tín hiệu thứ hai để nhận dạng hướng quay. Hai tín hiệu A và B phải được phân ly bằng một khoảng dịch pha. Tùy theo hướng quay (hình 4.4) tín hiệu A sớm pha hay muộn pha hơn tín hiệu B. Khoảng dịch pha này thường được chọn cỡ $(\frac{T}{4} + nT)$, sao cho độ phân giải gấp đôi hay gấp bốn lần để có thể nhận dạng hướng quay. T là chu kỳ lặp lại của tín hiệu A và B.



Hình 4.4 – Tạo tín hiệu A và B dịch pha:

a). quay ngược chiều kim đồng hồ; b). quay theo chiều kim đồng hồ.

Chi tiết hơn về kỹ thuật nhận dạng hướng quay nêu trong tài liệu [2].

4.2 – Cảm biến chuyển dịch (thẳng *linear-*, và chuyển dịch góc *angular-*).

4.2.1 – Khái niệm chung.

Ứng dụng điển hình của các phần tử cảm biến tham số là việc định vị vật thể trong bố trí không gian, cũng như việc điều khiển, khống chế sự dịch chuyển của nó trong không gian, xác định khoảng cách tương đối giữa các vật thể. Chúng là các thiết bị sơ cấp nhằm thực hiện nhiệm vụ đó. Liên hệ giữa phần tử cảm biến và đối tượng dịch chuyển thường được thực hiện bằng liên kết cơ học trực tiếp hay gián tiếp thông qua các trường điện, trường từ, ánh sáng ... tác động lên các tham số mạch cảm biến (trở kháng R , L , C , hồ cảm M , sức điện động E , ...).

Có hai phương pháp cơ bản để xác định vị trí và dịch chuyển:

- Tín hiệu là hàm phụ thuộc vị trí của một trong những phần tử cảm biến có liên hệ với vật di động cần xác định chuyển vị;
- Thông qua số xung đếm ứng với chuyển vị cơ bản của cảm biến liên quan tới vị trí và dịch chuyển vật thể.

4.2.2 – Phần tử biến trở *Resistance Transducer*.

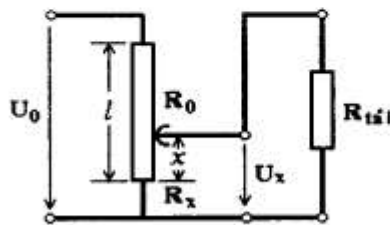
Các phần tử biến trở thường được chế xuất dưới dạng chiết áp *potentiometer*. Trị số điện trở thuần Ohm của biến trở kim loại dây cuốn là:

$$R = \rho \frac{l}{A}, [\Omega]; \quad (4.4)$$

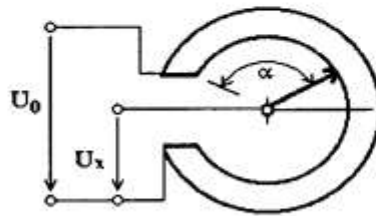
ở đây: ρ - điện trở suất vật liệu điện trở, $[\Omega \frac{mm^2}{m}]$; l - chiều dài dây cuốn điện trở; A - tiết diện dây trở, $[mm^2]$.

Về cấu trúc, các chiết áp có tiếp điểm con trượt: chuyển động thẳng *linear-* hay vòng (*arc-shaped-*) (hình 4.5), một vòng hay nhiều vòng. Kiểu thông dụng là có bộ phận truyền động trực quay con trượt

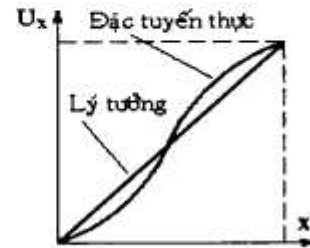
(quay tay hay dùng máy điện). Biến trở được thực hiện bằng điện trở dây cuốn, hoặc màng điện trở *film resistor* bằng một lớp carbon hay chất dẻo dẫn điện. Mỗi chiết áp thực tế không tránh khỏi có những thành phần điện cảm và điện dung. Tuy nhiên, có thể bỏ qua những thành phần đó, nếu dùng điện một chiều hay xoay chiều tần số thấp. Hiện nay đang phát triển loại biến trở từ – *magnetic field resistors*, làm việc không tiếp xúc và do đó không bị ảnh hưởng ma sát con trượt.



Hình 4.5 – Cảm biến điện trở:



Hình 4.6 – Sai lệch tuyến tính của



- a). Chiết áp thẳng; **duong than** chiết áp do dung sai chế tạo.
 b). Chiết áp vòng (amular).

Các thông số đặc trưng của biến trở.

- Trị số điện trở (danh định): Trị số điện trở điển hình là $100[\Omega]$ và $100 [k\Omega]$.
- Mức tổn hao công suất cho phép: Tổn hao sẽ tăng tùy theo mức tăng điện áp nếu điện trở nhỏ. Với điện trở lớn thì không chỉ làm tăng ảnh hưởng thành phần điện cảm và điện dung mà còn có nguy cơ làm tăng nhiễu điện-từ. Do đó, tùy trường hợp ứng dụng cụ thể mà tìm phương án thỏa hiệp. Do đó, điện áp lớn nhất $U_{0\max}$ có thể cung cấp cho chiết áp được tính bằng:

$$U_{0\max} = \sqrt{P_{th} R} ; [V] \quad (4.5)$$

ở đây: P_{th} – công suất tổn hao cho phép của chiết áp, $[W]$; R – trị số điện trở, $[\Omega]$.

- Dung sai cho phép: Dung sai là sai số lớn nhất có thể cho phép. Dung sai của chiết áp là sai lệch giữa trị số thực tế và trị số danh định, tính bằng [%] trị danh định, tức là sai số tương đối của biến trở chiết áp. Nó nằm trong phạm vi $\pm (1 \div 10)[\%]$. Trị số điển hình là trong khoảng $\pm 3[\%]$ và $\pm 5[\%]$.
- Độ tuyến tính: Độ tuyến tính là đặc tính đặc biệt quan trọng đối với các phần tử tự động. Thậm chí trong điều kiện không tải, ví dụ khi điện áp đầu ra được xác định theo phương pháp bù (cân bằng), coi như không có sụt áp trên đầu đo, thì thay đổi điện áp đầu ra cũng vẫn không thật tuyến tính với đường trượt hay góc quay của con trượt. Độ sai lệch điện trở thực tế so với đường cong lý tưởng thường là trong khoảng 0,05[%] và 1[%] (hình 4.6). Chiết áp dây cuốn có độ tuyến tính tốt hơn cả, nhưng có nhược điểm là giá trị biến trở thay đổi đúng bằng độ lớn vòng dây, từ vòng này sang vòng khác. Nói cách khác, độ phân giải bằng độ lớn điện trở một vòng dây. Trong thực tế, có thể chế tạo chiết áp với 25 vòng trên 1 [mm], tức là độ phân giải giới hạn trong khoảng 40 [μm].
- Độ phân giải: Độ phân giải của chiết áp vòng đơn đường kính 25 [mm] là khoảng 0,2°. Về lý thuyết, các chiết áp kiểu màng carbon hay màng dẻo điện dẫn có độ phân giải vô định. Trên thực tế, có thể đạt 0,01 [mm] khi đo dịch chuyển thẳng và 0,01° khi đo di góc. Tuy nhiên độ tuyến tính của những cảm biến này kém hơn các chiết áp dây cuốn.

Trong khi đó, các chiết áp con trượt lại phải hạn chế dòng điện qua tiếp điểm trượt tối đa là 1 [mA] để tránh hao mòn làm giảm tuổi thọ thiết bị. Biện pháp khắc phục trở ngại này là phối hợp hai phương pháp kết cấu: điện trở dây là dây cuốn và dây cuốn được phủ một lớp chất dẻo điện dẫn trên bề mặt tiếp xúc với con trượt. Kỹ thuật dây cuốn cho độ tuyến tính tốt, trong khi màng chất dẻo điện dẫn đảm bảo độ phân giải cao. Thêm vào đó, con trượt có thể tiếp xúc tốt hơn,

không chỉ cho phép giảm điện trở tiếp xúc mà còn có các đặc tính chống rung động và shock điện tốt hơn.

Độ tuyến tính không chỉ phụ thuộc vào bản thân phần tử chiết áp R_0 mà còn phụ thuộc tải – đầu ra của chiết áp mắc tải là phần mạch tiêu thụ dòng. Hình 4.7 cho thấy độ phi tuyến của đặc tuyến điện áp ra sẽ tăng lên khi điện trở tải $R_{tải}$ giảm :

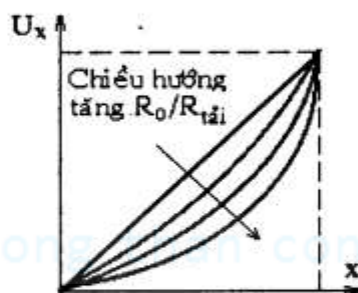
$$\frac{U_x}{U_0} = \frac{1}{l/x + R_0/R_{tải} (1-x/l)}; \quad (4.6)$$

ở đây: x – khoảng chạy của tiếp điểm con trượt; l – độ dài toàn phần của biến trở.

Trường hợp lý tưởng, chiết áp không tải ($R_{tải} \rightarrow \infty$), thì biểu thức (4.3) có dạng:

$$\frac{U_x}{U_0} = \frac{x}{l}. \quad (4.7)$$

Nếu $R_{tải} = R_0$ thì sai số cực đại là 12[%] trị cuối thang đo, nếu $R_{tải} = 10 R_0$ thì tương ứng sai số sẽ giảm xuống còn 1,5[%]. Vấn đề phối hợp điện trở tải giải quyết không mấy khó khăn khi sử dụng mạch khuếch đại thuật toán *Op-Amp* làm biến đổi trở kháng.

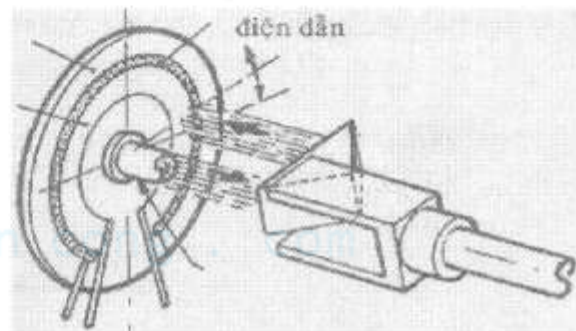
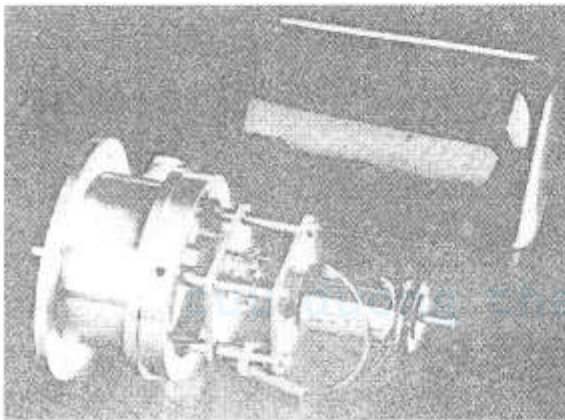


Hình 4.7 – Sai lệch tuyến tính của chiết áp do trở kháng tải.

Đối với chiết áp tuyến tính, phạm vi biến trở có thể đạt được chỉ tùy thuộc độ dài của phần tử biến trở. Trên thực tế, đa số các chiết áp

tuyến tính có chiều dài khoảng $(25 \div 300)$ [mm], nhưng cũng có những biến trở có độ dài tới 2000 [mm]. Đối với các chiết áp vòng, các sản phẩm tiêu chuẩn được chế tạo từ một đến mười vòng.

Cũng có những cơ cấu kết nối mắc nối tiếp. Có những trường hợp cần phải mở rộng phạm vi dịch chuyển góc quá nhỏ bằng bánh răng, hoặc phạm vi lớn hơn, ví như 10 vòng – thì bằng chiết áp 10 vòng. Hình 4.8 giới thiệu một chiết áp phù hợp với những điều kiện kỹ thuật dịch chuyển thẳng và góc, có vỏ bọc thép chắc chắn, trục quay ổ bi và một hộp nối ổ trượt bên trong.



Hình 4.8 – Chiết áp có cơ cấu truyền động. Hình 4.9 – Biến trở không tiếp xúc.

Biến trở không tiếp xúc. Để khắc phục nhược điểm của con trượt tiếp điểm, biến trở chiết áp dạng màng mỏng chất dẻo điện dẫn được thực hiện phối hợp với màng mỏng bằng chất liệu quang dẫn (bán dẫn) hoặc màng từ-trở (hình 4.9).

Sơ đồ đo ứng dụng – sơ đồ mạch cầu. Phương pháp xác định trị số điện trở chính xác nhất là sử dụng sơ đồ cầu đo. Hình 4.10 giới thiệu nguyên lý sơ đồ mạch cầu ứng dụng cho phần tử biến trở.

Sơ đồ mạch cầu ứng dụng cho phần tử biến trở có thể thực hiện theo nguyên lý sơ đồ cầu cân bằng, khi đó sơ đồ hình 4.10 được chỉnh định sao cho điện áp đường chéo cầu $U_D = 0$ [V], tức là dùng điện kế

galvanometer chỉ thị "0". Khi cầu cân bằng, có thể xác định trị số điện trở chưa biết $R_1 = R_x$ theo giá trị biết trước của các điện trở kia.

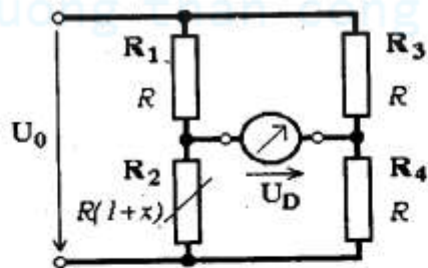
$$R_x = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4} \quad (4.8)$$

Cũng có thể sử dụng sơ đồ cầu theo nguyên lý cầu lệch để xử lý gia công tín hiệu đo, khi đó đồng hồ chỉ thị điện áp đường chéo cầu U_D là điện áp đầu ra. Thông thường phần tử biến trở R_2 trong sơ đồ cầu lệch hình 4.11 thay đổi theo chuyển vị x dạng $R_2 = R(1+x)$.

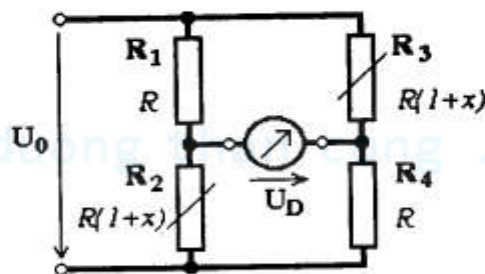
Đối với những chuyển dịch nhỏ, tức là $x \ll 1$, thì:

$$U_D = U_0 \cdot \left[\frac{R(1+x)}{R+R(1+x)} - \frac{1}{2} \right] = \frac{U_0}{4} \cdot \frac{x}{1+x/2} \cong \frac{U_0}{4} \cdot x = f(x)|_{x \ll 1} \quad (4.9)$$

Như vậy, điện áp đường chéo cầu U_D – chính là điện áp ra, tỷ lệ với độ chuyển dịch x .



Hình 4.10 – Sơ đồ cầu trở với phần tử biến trở.



Hình 4.11 – Sơ đồ mạch cầu với hai phần tử cảm biến.

Trong các sơ đồ cầu lệch, điện áp ra còn phụ thuộc điện áp cung cấp cho mạch cầu U_0 . Xét trường hợp $U_0 = 10$ [V]. Nếu chuyển vị tối đa cỡ $x = \pm 0,002$, thì điện áp đầu ra $U_D = \pm 5$ [mV]; độ sai lệch tuyến tính nhỏ hơn 0,1[%]. Nếu chuyển vị $x = \pm 0,02$, tương ứng điện áp ra biến động từ 0 đến 50 [mV], thì sai lệch tuyến tính nhỏ hơn 1[%]. Độ nhạy của hai trường hợp đó sẽ là:

$$\frac{U_D}{U_0} = \frac{5[mV]}{10[V]} = 0,5 \left[\frac{mV}{V} \right]; \quad \text{hay là:} \quad \frac{U_D}{U_0} = \frac{50[mV]}{10[V]} = 5,0 \left[\frac{mV}{V} \right]. \quad (4.10)$$

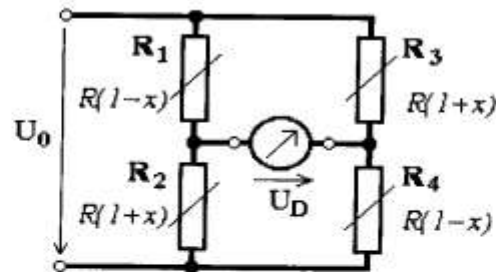
Để tăng độ nhạy, có thể dùng sơ đồ hai phần tử cảm biến (hình 4.11). Khi đó điện áp ra sẽ bằng:

$$U_D = U_0 \cdot \left[\frac{R(1+x)}{R+R(1+x)} - \frac{R}{R+R(1+x)} \right] \cong \frac{U_0}{2} \cdot x; \quad \text{với } x \ll 1; \quad (4.11)$$

tức là điện áp đầu ra tăng gấp đôi so với sơ đồ hình 4.10.

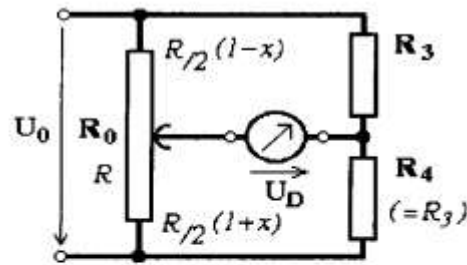
Hình 4.12 giới thiệu sơ đồ mạch cầu có 4 phần tử cảm biến, điển hình là dùng hai biến trở vi sai. Khi đó:

$$U_D = U_0 \cdot \left[\frac{R(1+x)}{R(1+x)+R(1-x)} - \frac{R(1-x)}{R(1+x)+R(1-x)} \right] = U_0 \cdot \frac{2Rx}{R(1+x)+R(1-x)} \cong U_0 \cdot x. \quad (4.12)$$



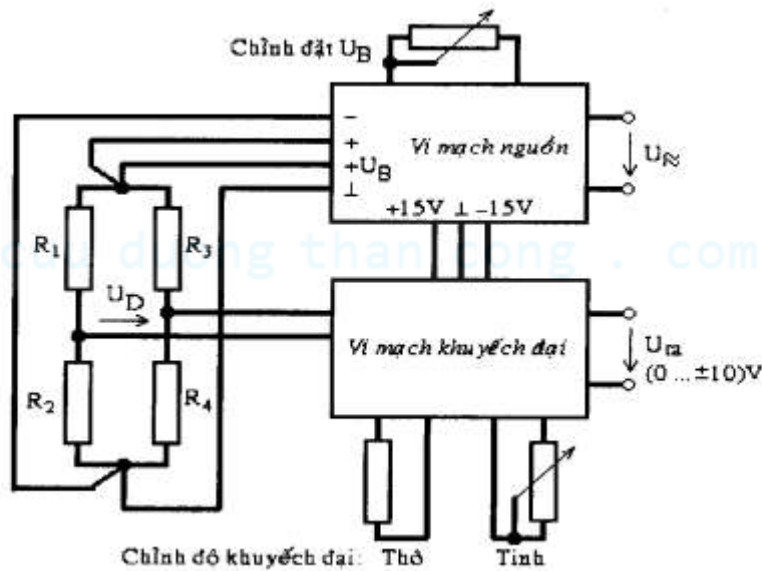
Hình 4.12 – Sơ đồ mạch cầu với bốn phần tử cảm biến.

Hình 4.13 là phương án sơ đồ mạch cầu dùng cho biến trở chiết áp tuyến tính. Ở đây $U_D \cong \frac{U_0}{2} \cdot x$.



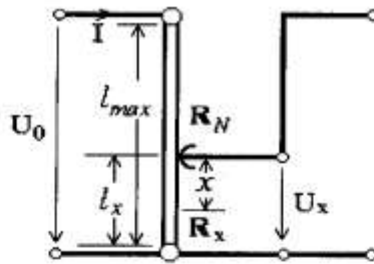
Hình 4.13 – Sơ đồ mạch cầu dùng cho biến trở chiết áp tuyến tính.

Đối với các sơ đồ cầu lệch, ảnh hưởng của điện áp cung cấp cho cầu là tương đối lớn. Nó phải được giữ sao cho không đổi, là nguồn hằng. Điều này có thể thực hiện bằng mạch điều chỉnh điện áp.



Hình 4.14 – Sơ đồ dùng vi mạch nguồn cung cấp cho cầu.

Hình 4.14 giới thiệu sơ đồ dùng vi mạch nguồn cung cấp cho cầu. Nguồn cung cấp cho cầu có thể là một nguồn điện áp hằng hay là một nguồn dòng hằng. Không có một hướng dẫn tổng quát là nên dùng dạng nguồn cung cấp nào, nguồn áp hằng hay nguồn dòng hằng. Ở đây tùy thuộc nhiệm vụ, mục tiêu cụ thể.



Hình 4.15 – Sơ đồ chiết áp potentiometer như một phần tử cảm biến dịch chuyển.

Phương pháp đơn giản nhất để chuyển đổi chuyển động thẳng thành đại lượng điện tỷ lệ là dùng hệ biến trở chiết áp. Chúng đưa ta trở lại nguyên lý cảm biến tham số của phần tử biến trở dây đo (dây trở) có con trượt *Resistance Transducer*. Hình 4.15 giới thiệu cấu tạo nguyên lý phần tử biến trở đo chuyển vị thẳng.

Tỷ lệ giữa độ dài chuyển dịch của con trượt trên biến trở x và độ lớn điện áp U_x rơi trên phần biến trở ấy tương tự như trong sơ đồ một bộ phân áp. Quan hệ tỷ lệ:

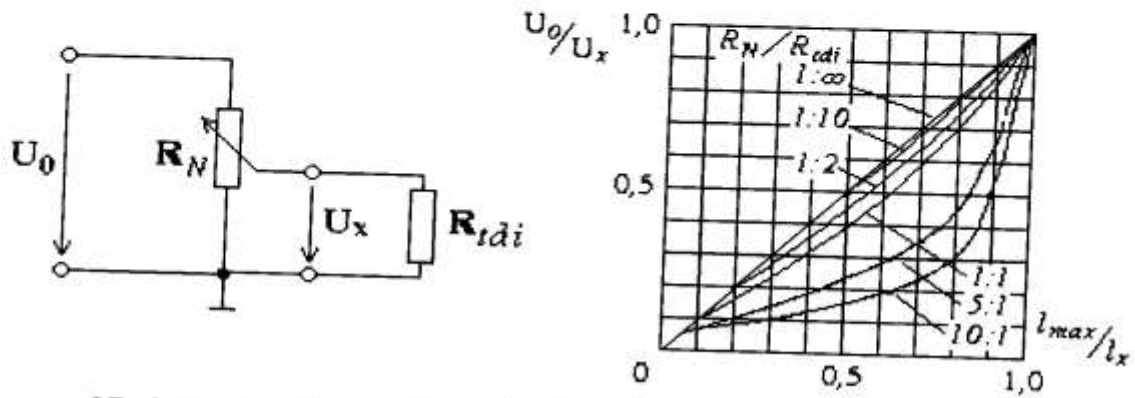
$$R_N = \frac{\rho l_{\max}}{A}; \quad (4.13)$$

$$I = \frac{U_0}{R_N}; \quad (4.14)$$

$$U_x = R_x \cdot I = \frac{\rho}{A} \cdot \frac{U_0}{R_N} \cdot l_x = k l_x = f(l_x); \quad (4.15)$$

ở đây: l_{\max} , l_x – độ dài toàn phần và độ dài khoảng dịch chuyển x của con trượt biến trở; R_N và R_x – điện trở toàn phần (danh định) và điện trở phần chiết áp của biến trở; ρ và A – điện trở suất của vật liệu dây dẫn và tiết diện dây; U_0 , I – điện áp và dòng điện trên phần tử; U_x – điện áp phần chiết áp con trượt – cũng chính là điện áp ra của phần tử; k – hệ số tỷ lệ. Như thấy từ biểu thức (4.12), mỗi chuyển vị con trượt ứng với một điện áp tỷ lệ nhất định. Độ tỷ lệ chỉ đúng khi phần tử biến trở làm việc như một bộ phân áp không tải. Như đã nêu ở

phần trên, độ tuyến tính không chỉ phụ thuộc vào bản thân phần tử chiết áp mà còn phụ thuộc tải – đầu ra của chiết áp mắc tải là phần mạch tiêu thụ dòng. Độ phi tuyến của đặc tuyến điện áp ra sẽ tăng lên khi điện trở tải $R_{tđi}$ giảm. Hình 4.16 chỉ rõ ảnh hưởng tải lên phần tử phân áp. Từ đó ta thấy rằng phải thực hiện phép đo điện áp ở đây sao cho phần tử biến trở không bị tải phân dòng (để ảnh hưởng tải là nhỏ nhất).



Hình 4.16 – Ảnh hưởng tải đối với phần tử biến trở chiết áp.

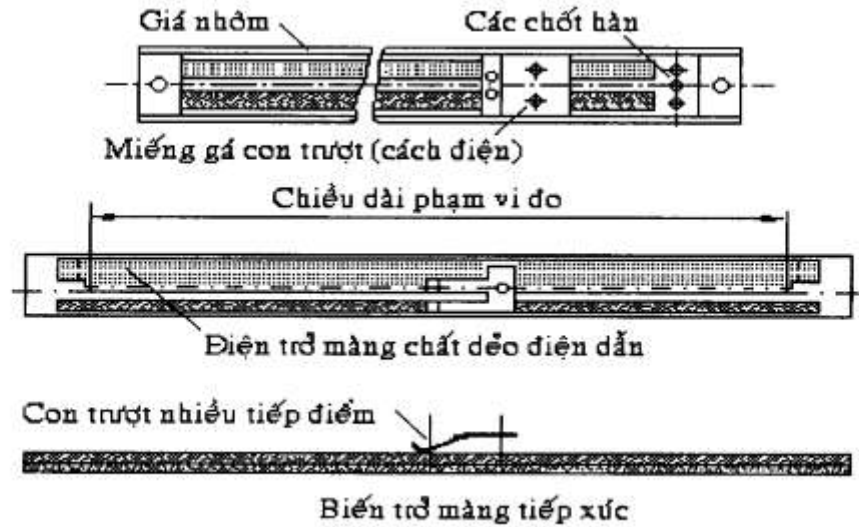
Là một biến trở dây dẫn nên phần tử cảm biến dạng này có trị số điện trở nhỏ. Hơn nữa, thông thường dây đo được cuốn xếp vòng trên lõi. Và như vậy, bởi con trượt chỉ có thể dịch chuyển từ vòng dây này sang vòng khác, điện trở R_x biến thiên giá trị số thành những nấc nhỏ tương ứng điện trở mỗi vòng dây. Nói cách khác, độ phân giải bằng độ lớn điện trở một vòng dây. Trong nhiều ứng dụng, điều này sẽ là trở ngại, biến thiên điện trở không trơn. Thế nhưng các phần tử biến trở dây cuốn lại có ưu điểm là đặc tính nhiệt tốt, và khi lựa chọn vật liệu dây dẫn phù hợp thì trị số điện trở sẽ ít phụ thuộc vào nhiệt độ. Trong cấu trúc phần tử chiết áp kiểu vòng, như đã nêu ở trên, nếu làm bằng vật liệu than carbon thì biến trở con trượt không phải đã thích hợp. Chỉ tới khi có dạng chế xuất mới là màng dẻo điện dẫn mới có những đặc tính dùng được. Chất dẻo điện dẫn là một loại vật liệu nhân tạo được trộn thêm hạt than làm cho nó có tính điện dẫn. Vật liệu bằng chất dẻo điện dẫn như vậy được phủ lên đế nền hay lõi thành một lớp

màng mỏng. Ở trên đã nêu biện pháp phối hợp hai phương pháp kết cấu: điện trở dây là dây cuốn và dây cuốn được phủ một lớp chất dẻo điện dẫn trên bề mặt tiếp xúc với con trượt. Kỹ thuật dây cuốn cho độ tuyến tính tốt, trong khi màng dẻo điện dẫn đảm bảo độ phân giải cao. Thêm vào đó, con trượt có thể tiếp xúc tốt hơn, không chỉ cho phép giảm điện trở tiếp xúc mà còn có các đặc tính chống rung động và shock điện tốt hơn.

Tùy theo hãng sản xuất, các phần tử biến trở khác nhau khá nhiều về cấu trúc, màng phủ và vật liệu nền. Con trượt của phần tử biến trở kiểu màng được làm dạng chổi, quét nhiều tiếp điểm, để giảm tải cơ học và tiếp xúc tốt hơn. Màng chất dẻo điện dẫn, giống như trường hợp dây điện trở đặt thẳng chiều dài, có độ phân giải gần như vô cùng, tức là dịch chuyển con trượt sẽ tạo điện áp ra tỷ lệ vị trí con trượt trên biến trở, nhưng không biến thiên theo nấc như kiểu dây cuốn.

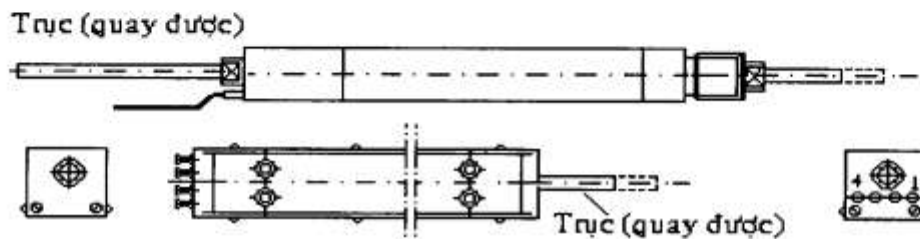
Biến trở màng chất dẻo điện dẫn được chế tạo rất chính xác, có thể giảm thiểu sai số tuyến tính tới $\pm 0,1\%$. Tuổi thọ vận hành có thể đạt 10^8 lần chỉnh định (vận hành con trượt) và tốc độ chuyển dịch con trượt tối đa có thể đạt $400 [mm/s]$. Phần tử biến trở kiểu này được giới thiệu sơ lược trong hình 4.17.

Phần tử biến trở không có vỏ bọc có loại chiều dài tới $1000 [mm]$. Các sản phẩm chế sẵn có thể có chiều dài tối đa tới $2,5 [m]$. Trị số điện trở của phần tử biến trở đo khoảng dịch chuyển tùy theo độ dài là khoảng $(2 \dots 200) [k\Omega]$ với dung sai cỡ $\pm 20 [\%]$ điện trở toàn phần của phần tử. Trong một số chế xuất đặc biệt cũng có thể đạt $\pm 10 [\%]$. Sai số tuyến tính nói chung là $\pm 0,5 [\%]$, và có thể giảm từng nấc tới $\pm 0,1 [\%]$.

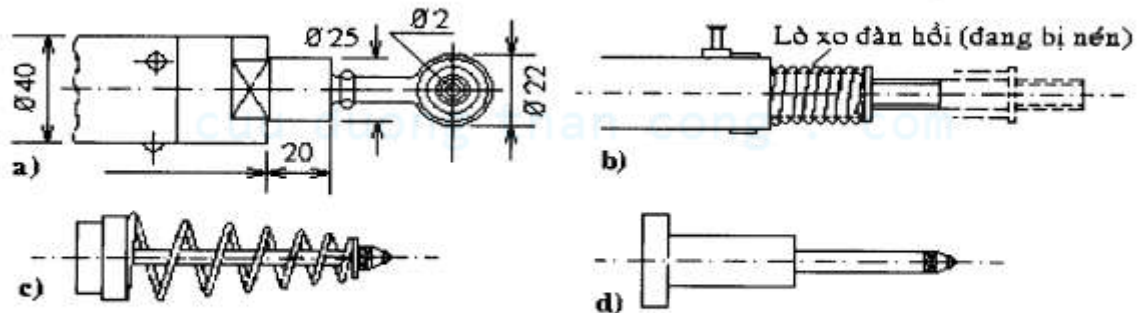


Hình 4.17 – Cấu trúc phần tử biến trở đo khoảng chuyển dịch thẳng dùng màng chất dẻo điện dẫn.

Đối với những ứng dụng thực tế các phần tử biến trở kiểu màng có nhiều kiểu vỏ bọc khác nhau. Cấu trúc trước kia làm bằng vỏ thiếc, các phần tử kiểu mới có vỏ bọc dạng ống hay dạng thép đúc định hình. Trục dịch chuyển con trượt được lắp ở bi một đầu hay cả hai đầu. Hình 4.18 giới thiệu hai kiểu khác nhau.



Hình 4.18 – Phần tử biến trở đo khoảng dịch chuyển.

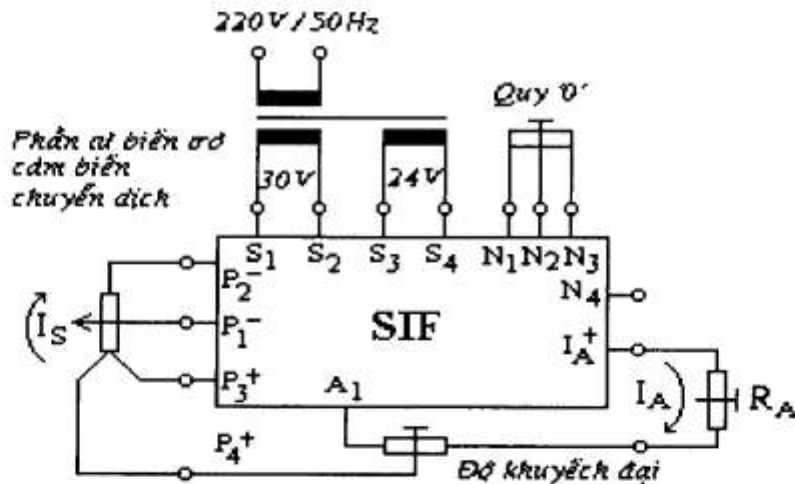


Hình 4.19 – Các cấu trúc phần tử đo khoảng chuyển dịch.

Đối với các biến trở dịch chuyển loại màng chất dẻo điện dẫn có hệ số nhiệt độ cỡ ± 400 [$ppm/^{\circ}K$] (ở đây ký hiệu ppm là “phần triệu” *parts per million*, tức là $\pm 0,4 \cdot 10^{-3}$ [$1/^{\circ}K$]), trong phạm vi nhiệt độ thu hẹp khoảng $(0 \dots 70)$ [$^{\circ}C$] có thể coi như bằng ± 200 [$ppm/^{\circ}K$]. Do những ứng dụng khác nhau nên có hai kiểu phần tử chính. Một kiểu có mắt ngắm với ổ trượt gắn trực tiếp trên phần dịch chuyển của phần tử. Kiểu thứ hai thì chỉ có riêng phần dịch chuyển. Việc dẫn động được thực hiện bằng một cơ cấu lò xo (hình 4.19).

Về nguyên lý thì mạch điện áp ra kết nối với phần tử biến trở phải là mạch có điện trở càng lớn càng tốt. Để tránh dao động điện áp làm việc của phần tử cảm biến, nguồn cung cấp cho phần tử biến trở phần lớn dùng nguồn dòng hằng, chỉ hiếm khi mới dùng nguồn áp hằng. Các vi mạch nguồn chuyên dụng giúp đơn giản hoá việc cung cấp nguồn cho phần tử biến trở. Chủ yếu là các vi mạch này tích hợp nguồn dòng hằng với nội trở cỡ 5 [$M\Omega$]. Mạch cấp dòng cho phần tử biến trở được tách khỏi mạch đo điện áp. Linh kiện chỉnh định điện trở cho phép chỉnh điểm không và điểm cuối thang đo. Vi mạch nguồn *SIF* của hãng điện tử *TWK-Electronics* có tham số điện trở toàn phần là 1 [$k\Omega$] (nguồn dòng hằng $2,5$ [mA]) và 5 [$k\Omega$] (nguồn dòng hằng $0,5$ [mA]). Vi mạch còn tích hợp bộ phận gia công chuẩn hoá tín hiệu. Có thể chọn tín hiệu ra nằm trong khoảng $(0 \dots 20)$ [mA]; $(4 \dots 20)$ [mA] hay ± 10 [mA]. Cũng có vi mạch nguồn cung cấp là áp hằng với thông số kỹ thuật tương tự. Hình 4.20 giới thiệu mạch nguyên lý ứng dụng vi mạch như vậy.

cuu duong than cong . com



Hình 4.20 – Phần tử biến trở đo dịch chuyển có vi mạch nguồn cung cấp (hãng TWK).

4.2.3 – Phần tử biến dung *Capacitance Transducers*.

Điện dung của một tụ điện phẳng tỷ lệ với diện tích bề mặt bản cực A , với khoảng cách bản cực d và với chất điện môi:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}; \quad [F] \quad (4.16)$$

ở đây: ϵ_0 – hằng số điện môi của không khí, $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} [F/m]$; ϵ_r – hằng số điện môi tương đối của vật liệu chất điện môi so với không khí; đối với điện môi là khoảng không (không khí) thì $\epsilon_r = 1$.

Do đó, điện dung là hàm của vị trí tương đối trong không gian và chất điện môi sử dụng. Đối với cấu trúc đồng tâm chiều dài l (tụ điện hình trụ), biểu thức sẽ là:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{2\pi l}{\ln \frac{r_a}{r_b}}; \quad (4.17)$$

ở đây: r_a - bán kính trụ ngoài; r_b - bán kính trụ trong.

Tuy nhiên, hiếm khi người ta xác định điện dung theo công thức (4.13), chỉ trong một số trường hợp nhất định mới tính trị số điện dung

trên cơ sở những đại lượng trên. Thông thường, điện dung được xác định bằng các phép đo trị hiệu dụng dòng điện \bar{I} và điện áp \bar{U} điện xoay chiều tần số f trên tụ:

$$C = \frac{\bar{I}}{2\pi f \cdot \bar{U}} \quad (4.18)$$

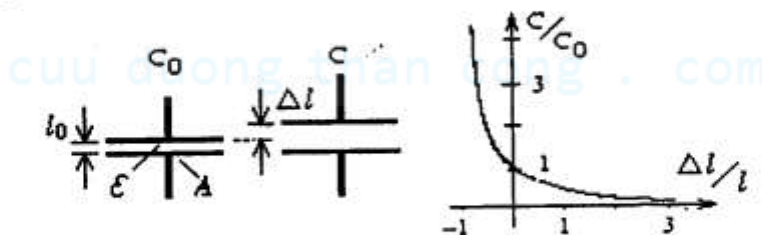
Cảm biến điện dung tạo nên một điện trường, còn cảm biến điện cảm tạo nên một từ trường. Nếu đưa một vật thể dẫn điện lại gần điện trường này, thì vật tác động như một bản cực và làm thay đổi phân bố điện trường. Sự thay đổi điện trường sẽ được phần tử cảm biến thu nhận và lượng giá – cho nên ở đây gọi chung là phần tử biến dung.

Phần tử biến dung gồm hai bản cực dẫn điện cách ly nhau nhưng có thể chuyển dịch so với nhau. Hai bản cực đặt song song, nên có thể tính điện dung của phần tử biến dung bằng:

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \cdot \frac{A}{l_0} \quad (4.19)$$

ở đây: C – điện dung phần tử, tính bằng $[F]$; ϵ_r – hằng số điện môi tương đối; ϵ_0 – hằng số điện môi không khí, $\epsilon_0 = 8,8854184 \cdot 10^{-12}$ $[F/m]$; A – diện tích bản cực, $[m^2]$; l_0 – khoảng cách giữa hai bản cực, tính bằng $[m]$.

Mối quan hệ rõ ràng giữa các đại lượng kích thước và điện dung tạo cơ sở chế xuất phần tử biến dung có khả năng lượng giá tín hiệu đo theo khoảng cách (hình 4.21).



Hình 4.21 – Nguyên lý phần tử biến dung đo khoảng cách.

Ở trạng thái ban đầu thì:

$$C_0 = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{l_0} \quad (4.20)$$

Khi tăng khoảng cách giữa hai điện cực ($l_1 = l_0 + \Delta l$) thì:

$$C_1 = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{l_1} \quad (4.21)$$

Biểu thức cơ sở của phần tử biến dung đo khoảng cách sẽ là:

$$\frac{C_1}{C_0} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta l}{l_0}} \quad (4.22)$$

Đối với những chuyển dịch nhỏ Δl so với khoảng cách l_0 thì tỷ số biến động khoảng cách có thể coi là khá nhỏ ($\frac{\Delta l}{l_0} \ll 1$) và như vậy:

$$\frac{C_1}{C_0} = 1 - \frac{\Delta l}{l_0} \quad (4.23)$$

Đặc tuyến phần tử cũng có thể coi gần đúng là tuyến tính trong một phạm vi nhất định.

Sự mở rộng điện trường của phần tử biến dung bằng cách tăng diện tích bản cực điện dẫn bị hạn chế, dù có những ưu điểm cấu trúc nhất định. Phần tử biến dung có đặc điểm:

- Độ tuyến tính cao (hơn 0,01%);
- Có khả năng bọc chắn chống ảnh hưởng điện trường nhiễu;
- Nhạy với nhiễu từ trường;
- Chuyển đổi trực tiếp thành đại lượng điện.

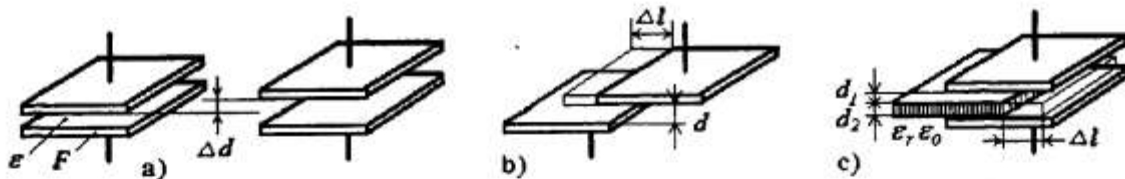
Và bởi sự thay đổi điện dung là rất nhỏ (thường nhỏ hơn 10 [pF]), đòi hỏi phải dùng mạch khuếch đại mắc nối tiếp, nhưng có thể dùng khuếch đại thuật toán FET-OpAm. Chúng được ứng dụng làm tụ điện chuẩn so hay phần tử biến dung vi sai.

Phần tử biến dung không tiếp điểm có đường kính khoảng (10 ... 15) [mm]. Phạm vi đo nằm trong khoảng (2 – 3) [mm]. Độ tuyến tính cao, hơn 1% và độ phân giải tối đa nhỏ hơn 1 [μm].

Trong ngành chế tạo máy, người ta sử dụng các phương tiện đo dựa trên cơ sở phần tử biến dung đo khoảng cách hay chiều dài có các thông số kỹ thuật cao (tuy nhiên ở đó cũng gặp phải vấn đề khuếch đại và bọc chấn chống nhiễu cho hệ đo lường).

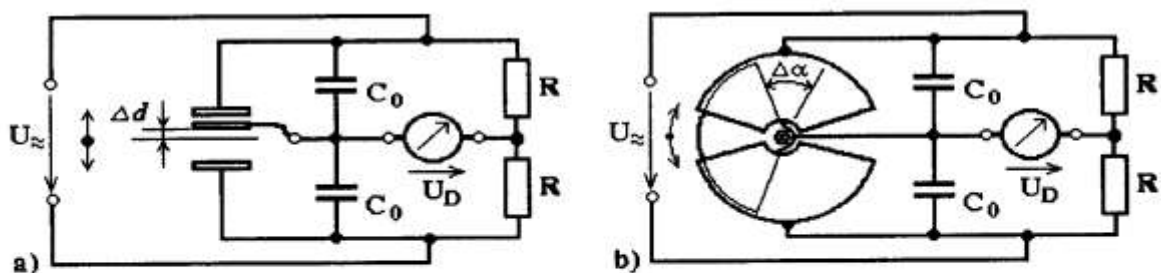
Trong kỹ thuật tự động sử dụng rộng rãi mạch biến dung đo tiếp cận, phản ứng nhanh nhạy với đại lượng khoảng cách chuyển dịch, thì giá trị điện dung theo trị tuyệt đối không phải chính yếu, cái chính lại là sự biến động, thay đổi của nó.

Các phần tử cảm biến điện dung ứng dụng sự thay đổi điện dung theo biến động của một trong những đại lượng ở biểu thức (4.13). Hình 4.22 trình bày sơ đồ nguyên lý các phương án biến dung đó. Hình 4.22a – phần tử biến dung do thay đổi khoảng cách giữa các bản cực một lượng bằng Δd ; hình 4.22b – do thay đổi diện tích đối ứng của các bản cực (bởi chuyển dịch Δl); hình 4.22c – do thay đổi tính chất điện môi (bởi tương tác điện môi không gian ϵ_r và ϵ_0 giữa các bản cực với xô dịch Δl).



Hình 4.22 – Nguyên lý cấu trúc cơ bản của các phần tử biến dung.

Sự thay đổi khoảng cách bản cực, diện tích bề mặt bản cực hay chất điện môi làm thay đổi điện dung và sẽ được lượng giá bằng sơ đồ mạch cầu (hình 4.23). Ở đây các phần tử cảm biến điện dung kiểu biến dung vi sai, mà mỗi nửa như một tụ điện. Các tụ điện C_0 mắc song song là để khắc phục ảnh hưởng ký sinh và tán xạ.



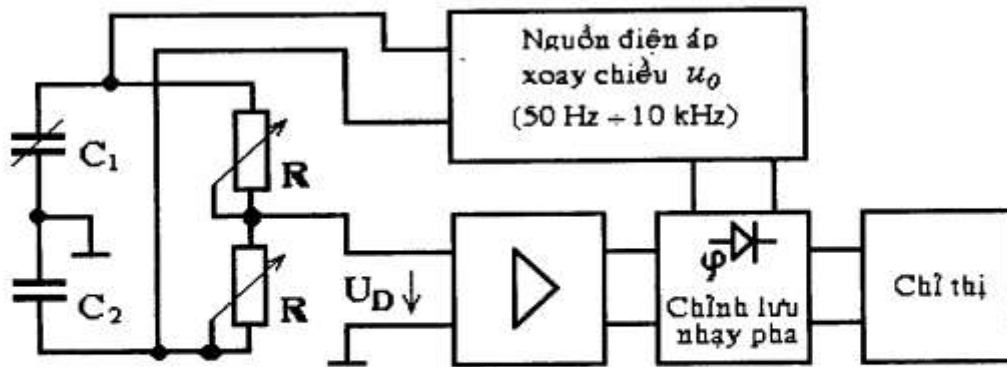
Hình 4.23 – Sơ đồ mạch cầu với phần tử biến dung.

Trường hợp đơn giản nhất thì phần tử cảm biến điện dung là tụ biến dung C_1 , còn C_2 là một tụ cố định. Nửa cầu kia là các biến trở chiết áp, cũng có thể thay bằng các tụ điện. Các biến trở trong sơ đồ hình 4.23 thường được chọn trị số bằng nhau. Có thể dùng mạch cầu theo nguyên lý cầu cân bằng (cân bằng cầu cho điện áp đường chéo cầu $u_D = 0$ [V]), hay theo nguyên lý cầu lệch. Phương pháp cầu lệch dựa trên mối quan hệ giữa điện áp đường chéo cầu với sự thay đổi điện dung của phần tử cảm biến. Điện áp cung cấp là điện xoay chiều có tần số trong khoảng 50 [Hz] đến 10 [kHz], cho nên điện áp u_D là điện áp xoay chiều. Nó sẽ được khuếch đại lên và chỉnh lưu bằng một bộ chỉnh lưu nhạy pha để chỉ thị hay điều khiển. Việc sử dụng bộ chỉnh lưu nhạy pha ở cầu xoay chiều là để nhận biết sự đổi dấu tín hiệu ở lân cận điểm cân bằng. Bằng cách đó, việc lượng giá điện áp đường chéo cầu ở trạng thái lân cận điểm cân bằng sẽ được thực hiện không chỉ về độ lớn sai lệch mà còn cả theo xu hướng tiệm cận.

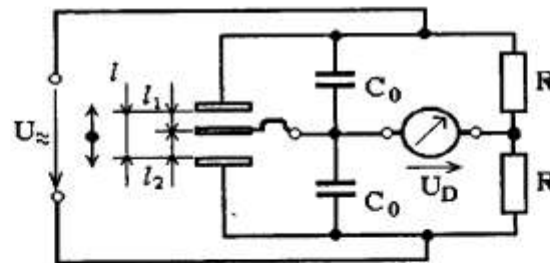
Hình 4.24 vẽ sơ đồ nguyên lý mạch cầu biến dung. Khi mạch đo điện áp đường chéo cầu \bar{U}_D có nội trở đủ lớn thì ta có:

$$\bar{U}_D \approx \frac{\bar{U}_0}{2} \cdot \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} \quad (4.24)$$

Sơ đồ hình 4.25 dùng cho phần tử cảm biến điện dung vi sai. Ở đây kết hợp cả hai tụ điện C_1 và C_2 trong hình 4.24 trong một phần tử vi sai, có các tụ điện phụ C_0 nhằm khắc phục điện dung ký sinh và tán xạ.



Hình 4.24 – Sơ đồ nguyên lý mạch cầu biến dung.



Hình 4.25

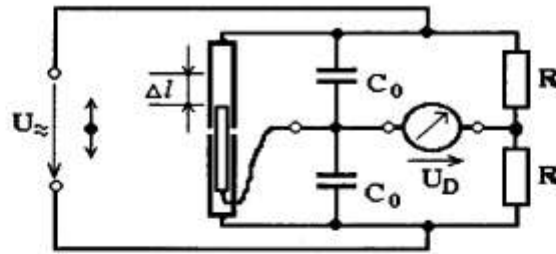
– Sơ đồ mạch cầu dùng cho phần tử cảm biến điện dung vi sai.

Tương quan giữa sự chuyển dịch của bản cực giữa và điện áp đường chéo cầu là không tuyến tính. Tuy nhiên, ở lân cận điểm cân bằng thì có thể tuyến tính hoá gần đúng, ta có:

$$\bar{U}_D \approx \frac{\bar{U}_0}{2} - \frac{l_1}{l} \cdot \bar{U}_0; \quad (4.25)$$

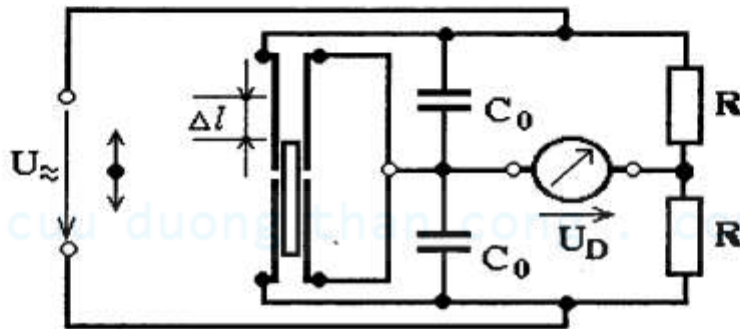
ở đây: l – khoảng cách các bản cực tụ biến dung.

Không chỉ thay đổi khoảng cách bản cực tụ biến dung, mà còn có thể thay đổi diện tích đối ứng của các bản cực. Việc này có thể thực hiện bằng cách tách một bản cực thành hai tụ điện hình trụ (hình 4.26).



Hình 4.26 – Sơ đồ cầu lệch với phần tử biến dung vi sai thay đổi diện tích bản cực.

Tương tự như vậy đối với phương án thay đổi tính chất điện môi (hình 4.27). Ở đây lõi di động giữa các bản cực tụ điện sẽ làm thay đổi tính chất điện môi.



Hình 4.27 – Sơ đồ cầu lệch với phần tử biến dung vi sai thay đổi tính chất điện môi.

Như nêu ở trên, điện dung là hàm của vị trí tương đối trong không gian và chất điện môi sử dụng. Đối với cấu trúc đồng tâm chiều dài l (tụ điện hình trụ, một phần tử dạng này mà kiểu vi sai được thể hiện trong hình 4.26, 4.27), biểu thức sẽ là:

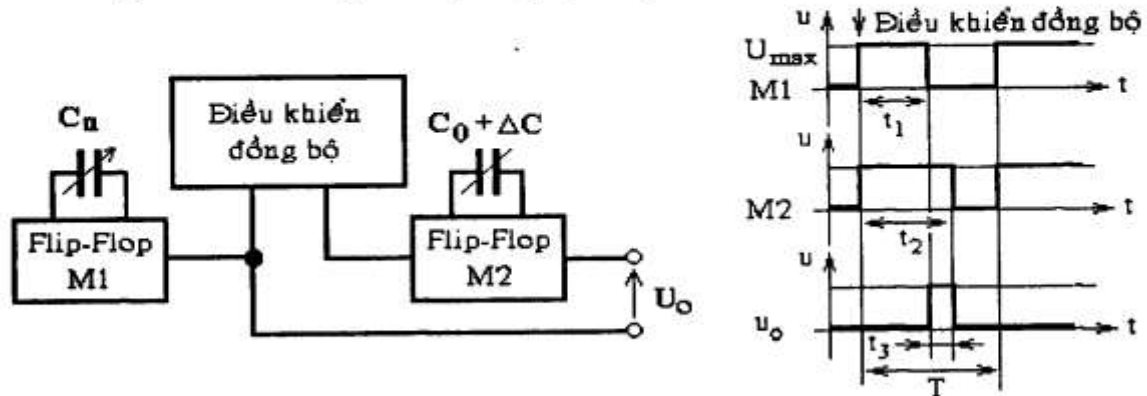
$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{2\pi l}{\ln \frac{r_a}{r_b}}; \quad (4.26)$$

ở đây: r_a – bán kính trụ ngoài; r_b – bán kính trụ trong.

Trong kỹ thuật thường sử dụng các tụ vi sai để tránh tính không thuần nhất *non-homogeneity* của điện trường tại các rìa bản cực. Hơn

nữa, còn có thể khai thác tốt những ưu điểm của sơ đồ mạch cầu đo về độ chính xác, độ nhạy, vv...

Trong các cảm biến độ ẩm, lợi dụng sự thay đổi điện dung theo độ ẩm môi trường, người ta dùng phương pháp xung vi sai để xác định biến dung. Hình 4.28 giới thiệu nguyên lý đó.



Hình 4.28 – Nguyên lý phương pháp xung vi sai xác định biến dung.

Mạch Flip-Flop lưỡng ổn M1 được đặt định sao cho ở trạng thái tĩnh độ rộng xung t_1 của tín hiệu đầu ra của nó tương ứng với độ rộng xung t_2 của mạch lưỡng ổn M2. Độ rộng xung của mạch Flip-Flop M2 lại phụ thuộc vào điện dung của phần tử cảm biến độ ẩm C_0 . Khi biến động độ ẩm, điện dung của phần tử biến dung sẽ thay đổi một lượng ΔC , thì xung tín hiệu đầu ra của M2 cũng sẽ biến động độ rộng xung t_2 , dẫn tới làm thay đổi độ rộng xung t_3 . Nếu chỉnh định trước chu kỳ lặp lại xung đầu ra của M1 là $T = 2t_1$, thì trị trung bình số học của xung vi sai có độ rộng là t_3 sẽ tỷ lệ với điện áp ra \bar{U}_0 :

$$\bar{U}_0 = \frac{t_3}{T} \cdot U_{\max}; \quad (4.27)$$

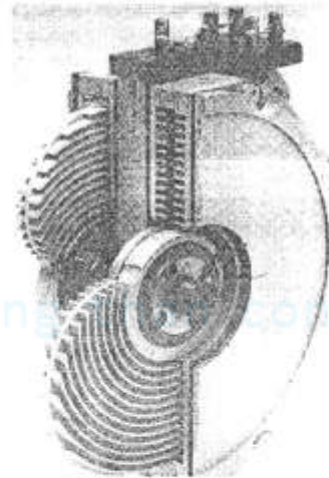
ở đây: U_{\max} là biên độ xung.

Ở các mạch Flip-Flop thì độ rộng xung đầu ra tỷ lệ với điện dung của tụ điện mắc vào mạch, và như vậy ta có mối liên quan giữa điện áp ra và sự thay đổi biến dung:

$$\bar{U}_0 = \frac{t_3}{T} \cdot U_{\max} = \frac{\Delta C}{2C_0} \cdot U_{\max} \quad (4.28)$$

Trên thực tế, các phần tử cảm biến điện dung đo khoảng cách và dịch chuyển góc có điện dung biến thiên trong khoảng $(1 \div 500)$ $[pF]$. Nhằm ngăn ngừa trở kháng quá lớn, thường chọn tần số điện nguồn cung cấp khoảng $(0,1 \div 1)$ $[MHz]$. Ngoài ra, phải đảm bảo điện trở cách điện đủ lớn để giảm thiểu sai số điện trở *shunt* phân dòng. Yêu cầu này thường khó đảm bảo được khi tiến hành phép đo ở độ ẩm cao. Ưu thế của cảm biến điện dung so với cảm biến điện trở và điện cảm là ít bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ và có thể đạt được độ chính xác cao.

Hình 4.29 giới thiệu một kiểu tụ vi sai ghép kép dùng trong đo lường chính xác. Về kết cấu, mỗi tụ điện có hai hoặc bốn phần cố định *stators* và một phần xoay *rotor*. Vì là tụ vi sai, điện dung giữa phần xoay và toàn bộ phần cố định vẫn giữ nguyên không đổi bất kể vị trí góc độ của phần xoay.



Hình 4.29 – Tụ điện xoay vi sai ghép kép.

Có thể nói thêm rằng trong các bộ phận kỹ thuật tính analog, tụ vi phân có phần xoay định hình được dùng để thực hiện các phép tính vi phân và các hàm xấp xỉ hoá phụ thuộc góc xoay α , ví dụ các hàm tuyến tính, bình phương và hàm lượng giác (\sin , \cos , $\alpha/2$). Cần nhấn mạnh là có thể đạt độ chính xác cao khi ứng dụng các cảm biến điện dung vi sai này. Ví dụ, ở cấp chính xác cao nhất đối với các hàm tuyến tính và hàm lượng giác, có thể đảm bảo sai số cho phép 0,05% trị cực đại của các hàm này. Hệ số nhiệt độ là cỡ $30 \cdot 10^{-6} \div 60 \cdot 10^{-6} [1/^\circ C]$.

4.2.4 – Phần tử biến cảm *Inductance Transducers*.

Điện cảm của cuộn dây được xác định bằng:

$$L = \frac{N^2 \mu_0 \mu_r A}{l}; \quad (4.29)$$

ở đây: N – số vòng dây; μ_0 - độ từ thẩm của khoảng không, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} [H/m]$; μ_r - độ từ thẩm tương đối; A - diện tích và l - độ dài của cuộn dây.

Trên thực tế, việc tính toán điện cảm cuộn dây theo các đại lượng này nói chung là không thể. Thường thì người ta xác định điện cảm theo phép đo trị hiệu dụng dòng và áp xoay chiều tần số f trên cuộn dây.

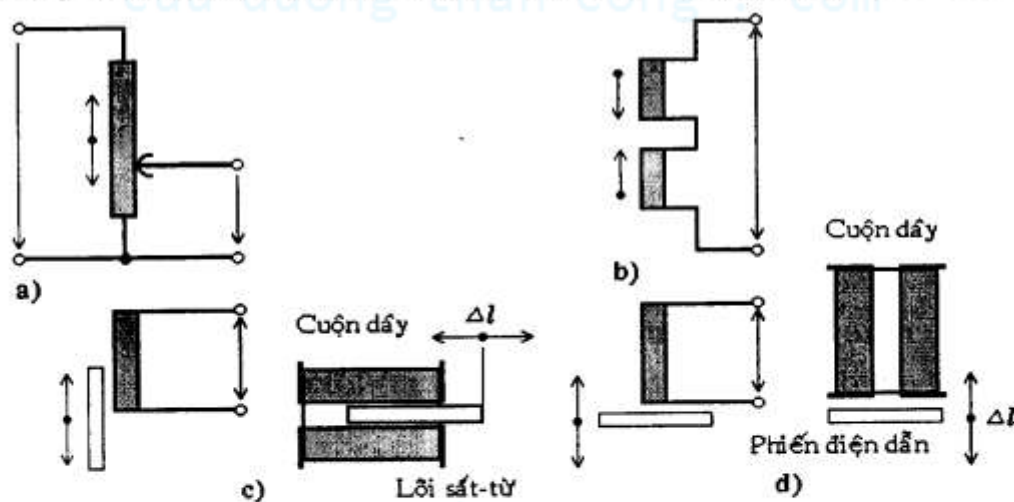
$$L = \frac{\bar{U}}{2\pi f \cdot \bar{I}}. \quad (4.30)$$

Tuy nhiên, tổn hao trở kháng (điện trở thuần của dây cuộn), tổn hao từ hoá và dòng xoáy trong cuộn dây có lõi sắt sẽ làm sai lệch kết quả đo (dòng và áp). Trong trường hợp này thì xác định điện trở dây cuộn của cuộn dây lõi không khí bằng cách thực hiện phép đo điện một chiều thì chính xác hơn nhiều (xem sơ đồ tương đương của cuộn cảm dây cuốn, Phụ lục 1). Còn đối với cuộn dây có lõi sắt thì đòi hỏi phải xác định thành phần điện kháng tác dụng.

Cũng như đối với các phần tử cảm biến điện dung, nguyên lý chung đối với các phần tử cảm biến điện cảm là làm thay đổi một

trong những đại lượng xác định điện cảm của cuộn cảm (xem biểu thức (4.26), có thể biến thiên các thành phần N , μ_r , A và l để dùng làm biến cảm. Trên cơ sở đó có thể có những phương án hiện thực hoá phần tử biến cảm như trong hình (4.30).

Có thể biến thiên số vòng dây N bằng cách dùng kết cấu con trượt (hình 4.30a). Tuy nhiên, khó có thể làm thay đổi kích thước hình học của từng vòng dây riêng lẻ. Cách khác, nếu chia cuộn dây thành hai nửa và làm thay đổi khoảng không giữa chúng (hình 4.30b), thì sự ghép từ tính sẽ thay đổi và làm thay đổi điện cảm toàn phần. Đối với cuộn cảm có lõi sắt thì sự dịch chuyển của lõi sắt-từ trong lòng cuộn dây làm thay đổi độ từ thẩm μ_r (kiểu phần ứng dọc, hình 4.30c – nguyên lý và kết cấu). Kiểu khác – kiểu phần ứng ngang, thì một bản cực điện dẫn được đưa lại gần cuộn dây, hoặc ở thân bọc điện dẫn đặt trên cuộn dây, khi đó trong phiến điện dẫn sẽ cảm ứng dòng xoáy Foucault. Điện trường tạo bởi dòng Foucault ấy tương tác với từ trường cuộn dây làm thay đổi điện cảm (hình 4.30d – nguyên lý và kết cấu).



Hình 4.30 – Nguyên lý biến cảm theo phương án biến thiên:

- a). số vòng dây N ;
- b). bố trí hình học;
- c). độ từ thẩm (lõi sắt từ – kiểu phần ứng dọc);

d). tổn hao dòng xoáy (phiến điện dẫn – kiểu phần ứng ngang).

Như vậy, phần tử cảm biến điện cảm nói chung có hai dạng kết cấu cơ bản:

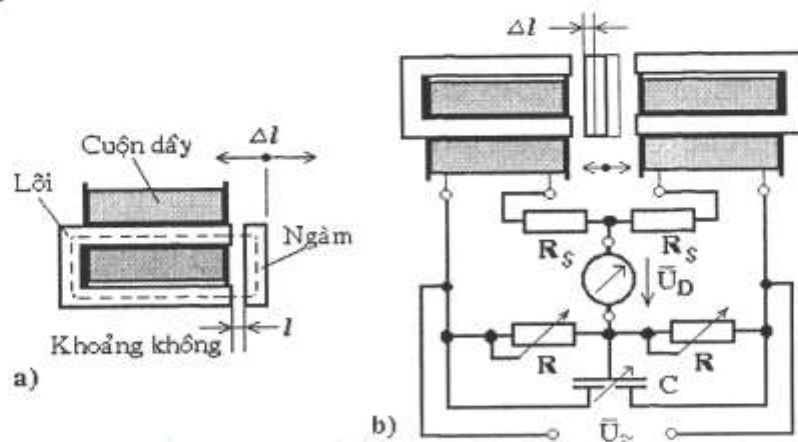
- Cuộn cảm không lõi sắt, và:
- Cuộn cảm lõi sắt-từ.

Về nguyên lý thì kết cấu biến cảm có lõi sắt-từ làm việc chủ yếu trên cơ sở ghép từ tính, đó là nguyên lý biến áp, với hệ số ghép như là hệ số biến áp. Do đó dạng kết cấu có lõi sắt có hai kiểu cơ bản:

- Kiểu phần ứng dọc *longitudinal armature* , và:
- Kiểu phần ứng ngang *transverse armature*.

Ở đây, cũng như trong kỹ thuật điện-từ, bộ phận động gọi là phần ứng.

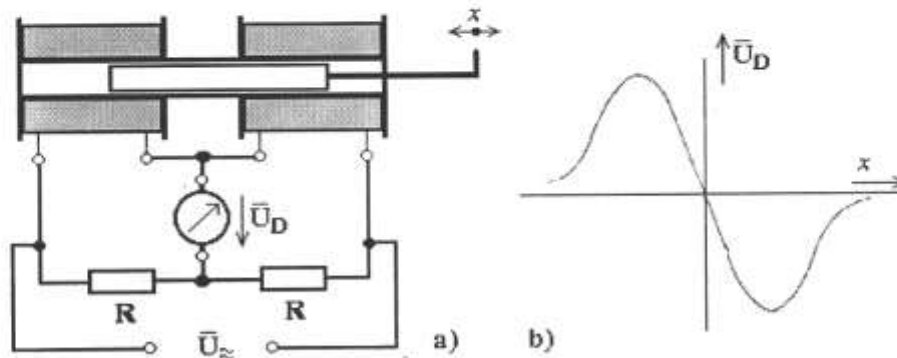
Một dạng phần tử biến cảm kiểu phần ứng ngang được thực hiện bằng cách thay đổi độ từ thẩm của khoảng không trong lòng cuộn cảm bằng lõi sắt có ngàm (hình 4.31a). Hình 4.31b giới thiệu sơ đồ nguyên lý phần tử biến cảm vi sai với mạch cầu.



Hình 4.31 - Phần tử biến cảm kiểu phần ứng ngang:

a). kiểu ngàm; b). kiểu vi sai mắc vào mạch cầu.

Dạng ứng dụng có lõi sắt-từ mềm di động trong lòng cuộn cảm dây cuốn là phần tử biến cảm phần ứng dọc (xem hình 4.30c) – một dạng phần tử biến cảm theo nguyên lý biến thế. Cấu trúc thông dụng nhất là cuộn chặn *iron-core choke* vì sai mắc mạch nửa cầu – phần tử biến cảm ghép hai cuộn dây có lõi sắt-từ di động kiểu vi sai (hình 4.32). Còn trên hình 4.33 là phương án ứng dụng nguyên lý biến áp vi sai.



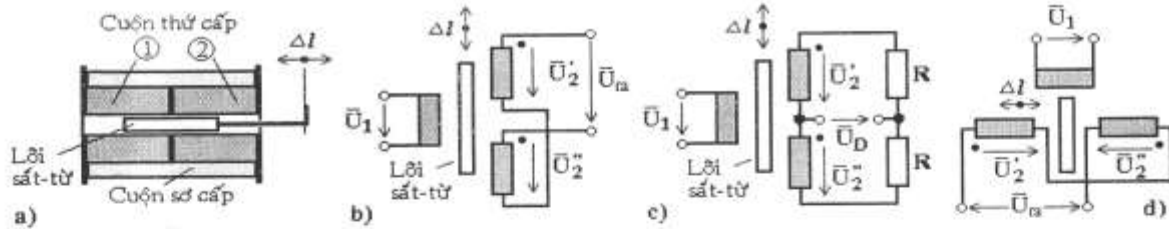
Hình 4.32 – Phần tử biến cảm vi sai:

a). Sơ đồ nối mạch cầu đo; b). Đặc tuyến.

Cuộn chặn vi sai hình 4.32a có kết cấu phần ứng dọc (lõi sắt-từ dọc). Nếu cuộn dây di động, từ trường ghép sẽ thay đổi và cùng với nó là thay đổi hồ cảm. Điện cảm của hai nhánh cầu biến đổi nghịch và điện áp đường chéo cầu U_D sẽ được hiển thị như là hàm của khoảng chuyển dịch x (đặc tuyến hình 4.32b). Khoảng đặc tuyến đi qua điểm 0 trên đồ thị có thể coi như tuyến tính. So với các phần tử cảm biến điện cảm đơn, về cơ bản, hai cuộn dây mắc vi sai kém nhạy hơn đối với tạp nhiễu *strays* từ trường, đối với biến động nhiệt độ và biến động về biên độ hoặc tần số nguồn cung cấp.

Các biến áp vi sai thậm chí còn được sử dụng phổ biến hơn cuộn chặn (kiểu ngàm dịch chuyển dọc trục) mắc mạch kiểu vi sai (hình 4.31) hay cầu nửa với cảm biến điện cảm (hình 4.32). Hình 4.33 giới thiệu một kiểu biến áp vi sai có một cuộn sơ cấp và hai cuộn thứ cấp

được lắp lồng vào nhau (đồng trục trên cùng một khung dây cuộn), trong lòng có lõi sắt-từ mềm di động.



Hình 4.33 – Nguyên lý biến áp vi sai: a). Kết cấu; b). Kiểu lõi dọc; c). Kiểu lõi dọc mắc mạch cầu đo; d). Kiểu lõi ngang.

Cuộn sơ cấp được cấp một điện áp xoay chiều. Khi lõi sắt-từ ở vị trí giữa (vị trí đối xứng) thì sự ghép từ tính (hệ số biến áp) giữa cuộn sơ và hai cuộn thứ là như nhau; và nếu như các thông số của hai cuộn thứ cấp là y như nhau thì điện áp cảm ứng ở hai cuộn thứ cũng sẽ bằng nhau. Nếu lõi sắt-từ bị dịch chuyển ra khỏi vị trí đối xứng thì điện áp ra của các cuộn thứ cấp sẽ khác nhau.

Hai cuộn thứ cấp trong phần tử biến cảm kiểu lõi dọc (hình 4.33b) mắc mạch ngược đầu với nhau, tạo thành điện áp vi sai đầu ra. Cũng có thể dùng sơ đồ mạch cầu (hình 4.33c), mắc hai cuộn thứ cấp vào hai nhánh mạch cầu.

Đối với sơ đồ hình 4.33b thì điện áp đầu ra của mạch \bar{U}_{ra} sẽ bằng:

$$\bar{U}_{ra} = K \cdot \bar{U}_1 \cdot \Delta l; \quad (4.31)$$

ở đây: K – hằng số ghép (hệ số biến áp); \bar{U}_1 – điện áp cuộn sơ cấp (trị hiệu dụng); Δl – chuyển vị của lõi sắt-từ khỏi vị trí đối xứng.

Ở sơ đồ mạch cầu hình 4.33c, thì điện áp đầu ra (điện áp đường chéo cầu) sẽ bằng:

$$\bar{U}_{ra} = \frac{1}{2} K \cdot \bar{U}_1 \cdot \Delta l. \quad (4.32)$$

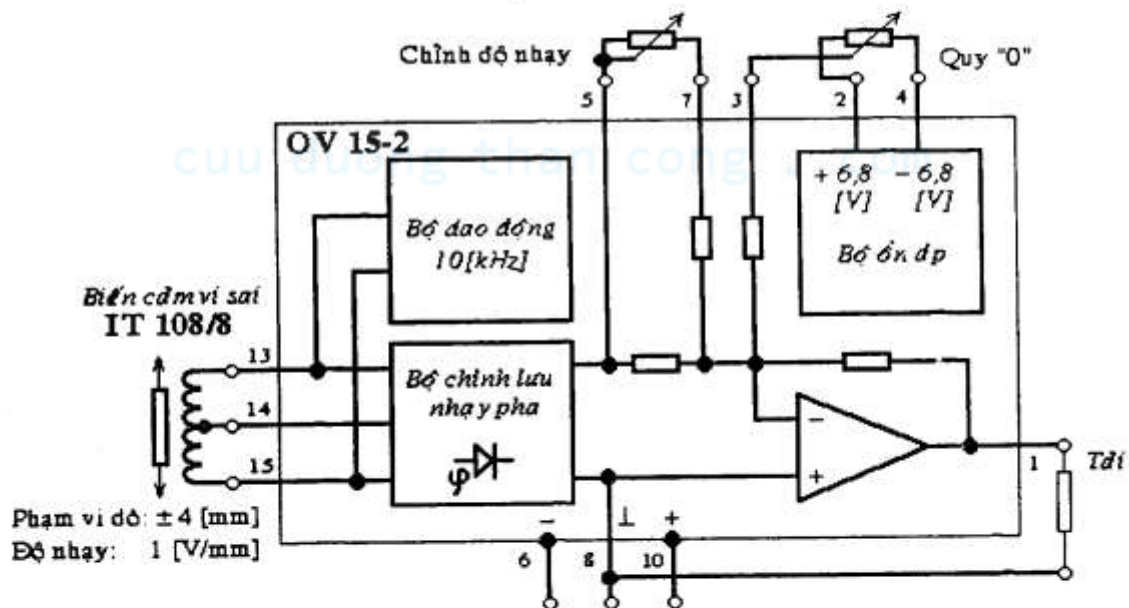
Như vậy, nếu dịch chuyển lõi sắt-từ là như nhau ở cả hai sơ đồ, thì sơ đồ hình 4.33b sẽ cho điện áp đầu ra lớn hơn.

Thường thì các phép đo điện cảm được thực hiện bằng phương pháp cầu đo. Ở đây, cũng như mạch cầu dùng cho các phần tử biến dung đã nêu ở phần trên, điện áp cung cấp cho cầu là điện áp xoay chiều có tần số trong khoảng 50 [Hz] đến 10 [kHz]. Trong sơ đồ mạch cầu có cuộn cảm, việc xử lý điện trở dây cuốn của cuộn dây không đơn giản như sơ đồ mạch cầu dùng với phần tử biến dung. Hơn nữa, trong các phần tử biến cảm có lõi sắt-từ thì sự thay đổi điện cảm chủ yếu chịu ảnh hưởng của lõi sắt, có hiện tượng từ hóa và bão hòa từ. Do tính phi tuyến của các ảnh hưởng này mà trong điện áp đường chéo cầu bên cạnh tần số cơ bản – tần số điện áp cung cấp cho cầu, còn có những thành phần tần số bậc cao khác. Mà sơ đồ mạch cầu chỉ có thể điều chỉnh cân bằng ở một tần số mà thôi, cần phải lọc bỏ những thành phần hài cao tần, để chỉ thị không quá sai lệch. Ở đây cũng dùng bộ chỉnh lưu nhạy pha. Bằng cách lượng giá một cách phù hợp có thể xác định dấu (hay xu hướng) thay đổi điện cảm.

Trong thực tế, các phần tử biến cảm vi sai đóng vai trò quan trọng. Trên thị trường cũng có sẵn những linh kiện vi mạch dùng cho các phần tử biến cảm vi sai này. Hình 4.34 giới thiệu sơ đồ nguyên lý chung xác định điện cảm của phần tử biến cảm.

Trong ứng dụng kỹ thuật dùng các phần tử cảm biến điện cảm có thể đo các di chuyển s trong phạm vi từ 1.10^{-4} [mm] đến hơn 1 [m]. Có thể làm cho sai số phép đo nhỏ hơn 0,1%. Có thể đạt độ chính xác và độ nhạy cao khi sử dụng hệ kết cấu phần ứng dọc. Cuộn sơ cấp và hai cuộn thứ cấp được quấn quanh một khung dây hình trụ bằng chất dẻo có lỗ trống giữa. Tùy theo ứng dụng, vật liệu chất dẻo *plastic* phải có độ ổn định nhiệt cao và phải rất kém nhạy với độ ẩm. Đó là lý do cuộn dây phải được tẩm hỗn hợp chất dẻo trong chân không. Thêm vào đó, tổ hợp cuộn dây có thể được lắp trong một ống thép cao cấp và bọc kín bằng một lớp nhựa epoxy. Đối với những điều kiện môi trường

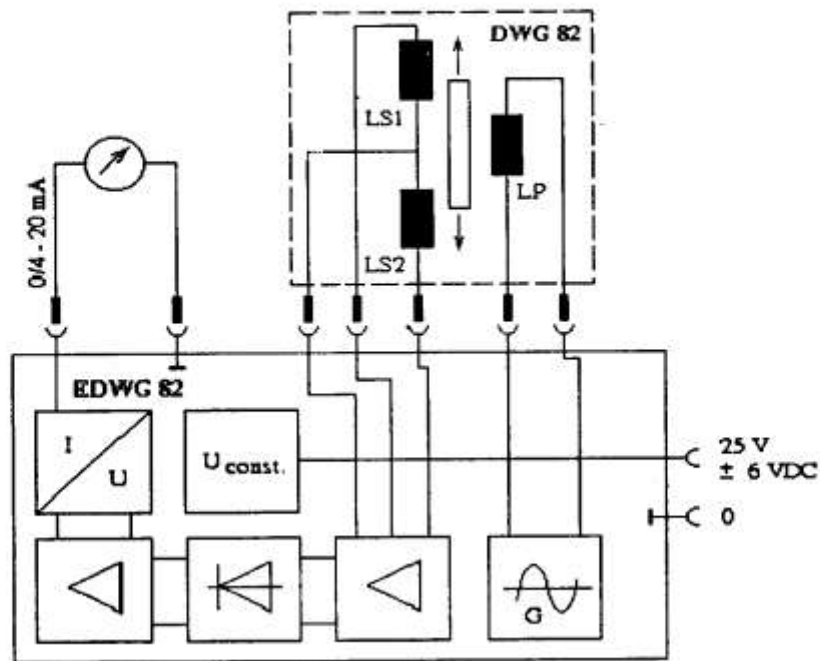
đặc biệt khắc nghiệt, ống thép cao cấp còn được đặt trong một lỗ khoan bên trong và các ống được hàn vào bề mặt trước bằng các tấm thép cao cấp, tạo thành một lớp vỏ bọc được gắn kín. Ngoài việc bảo vệ khỏi những tác nhân xâm thực, lớp vỏ bọc còn tạo thành màn chắn chống nhiễu từ trường và điện trường. Cũng như với cuộn chặn vi sai, dịch chuyển cần đo được biến đổi thành đại lượng điện bởi lõi sắt di động trong lòng khung dây. Nguồn cung cấp cho cuộn sơ cấp có sóng mang tần số khoảng $(10 \div 20)$ [kHz]. Tùy theo vị trí của lõi sắt, sự ghép từ tính giữa cuộn sơ cấp và thứ cấp sẽ thay đổi. Trong hai cuộn thứ cấp sẽ cảm ứng điện áp xoay chiều ngược hướng, có cùng hoặc khác nhau về độ lớn. Bởi hai cuộn thứ cấp được mắc ngược đầu nhau, nên điện áp đầu ra bằng hiệu điện áp hai cuộn, được đưa tới bộ khuếch đại.



Hình 4.34 – Sơ đồ nguyên lý xác định điện cảm của phần tử biến cảm.

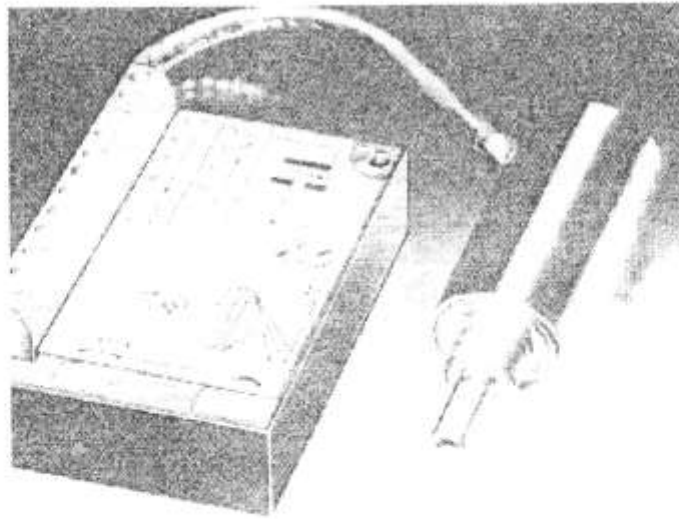
Hình 4.35 giới thiệu phần tử điều khiển dùng trong công nghiệp. Bộ tạo sóng G tạo ra điện áp nguồn 10 [kHz] cho cuộn sơ cấp LP của biến áp vi sai DWG82. Hai cuộn thứ cấp LS1 và LS2 là các nhánh cầu đo, điện áp đường chéo cầu được đưa qua một bộ biến đổi trở kháng

đến bộ chỉnh lưu đo lường. Bộ chuyển đổi U/I tạo ra tín hiệu chuẩn hoá $0(4) \dots 20 [mA]$.



Hình 4.35 – Phần tử biến cảm vi sai với mạch tạo điện áp đầu ra và tín hiệu nhận dạng.

Nguyên lý đo ấy cũng được dùng để đo góc (hình 4.36). Góc quay được biến đổi thành chuyển động thẳng thông qua một trục quay chính xác (bằng cách chuyển dịch lõi ferrite trong biến áp vi sai). Tất cả các bộ phận điện tử cần để tạo nguồn điện áp $10 [kHz]$ và để tách lọc tín hiệu đều được lắp trong vỏ bọc chất dẻo gắn kín. Nếu lõi sắt và trở kháng điện cảm sơ cấp trong biến áp vi sai được thiết kế thích hợp, thì có thể giảm công suất phản kháng trên lõi sắt đến mức bỏ qua được. Đường cong đặc tuyến điện áp đầu ra là hàm của khoảng dịch chuyển x tương tự như của cuộn chặn vi sai.



Hình 4.36 – Máy đo di góc ứng dụng phần tử biến cảm (phải), nguồn và mạch nhận dạng (trái).

Tổ hợp cuộn dây có lõi sắt hay không lõi sắt đều được dùng làm cảm biến điện cảm đo dịch chuyển. Mặc dù cuộn dây lõi không khí có điện cảm thấp hơn, chúng vẫn được sử dụng thậm chí ở tần số cao. Các lõi sắt tạo nên được sự thay đổi lớn hơn về điện cảm và do đó có độ nhạy cao hơn. Tuy nhiên, các cảm biến điện cảm có lõi sắt lại phụ thuộc dòng điện và bị tổn hao phụ thuộc tần số.

Các biến cảm vi sai có hàng loạt đặc tính mà các cảm biến dịch chuyển khác không có, do đó đặc biệt phù hợp cho những ứng dụng chuyên dùng. Phép đo được tiến hành không bị ảnh hưởng ma sát, vì không có tiếp xúc cơ học giữa lõi sắt phần động và cuộn dây. Độ cách điện lớn giữa cuộn đầu vào và cuộn đầu ra cho phép ứng dụng trong những hệ cách ly điện hoá *galvanic* với hiệu điện thế cao. Ngoài ra, chúng còn có đặc tính kém nhạy đối với những tác động lực ngoài, ứng dụng tốt trong các máy đo gia tốc.

Các đặc tính kỹ thuật chủ yếu:

- Phạm vi nhiệt độ làm việc cho phép $(-200 \div +600) [^{\circ}C]$;
- Chịu va đập *shock* (11 [ms]) tới 1000 [g];
- Chịu rung động tới 20 [g] với tần số rung 2 [kHz];

- Chịu áp lực tới 70 [bar];
- Sai số tuyến tính 0,1 [%].

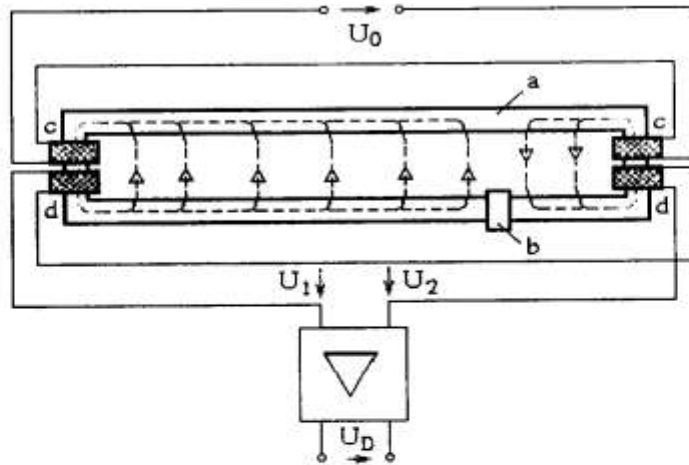
Những thông số này hầu như không loại cảm biến nào khác có được.

Phần tử biến cảm kiểu phần ứng ngang – (nguyên lý xem hình 4.33d) một đĩa bằng vật liệu điện dẫn được đưa vào từ trường, từ thông cảm ứng gây ra dòng xoáy Foucault bên trong đĩa, tạo nên dịch chuyển dòng chảy. Đĩa có thể nằm ở đầu trục của cuộn dây, ở góc phải của nó, hoặc dưới dạng một vòng ngắn mạch có thể di động đồng trục với trục cuộn dây. Nói chung, độ nhạy của cảm biến có phần ứng ngang thấp hơn so với hệ phần ứng dọc.

Một dạng cảm biến đo di chuyển gắn với kiểu biến áp vi sai kết cấu phần ứng ngang, dùng một vòng ngắn mạch được đặt di động trên cạnh dọc của lõi từ mềm khép kín dạng cửa sổ.

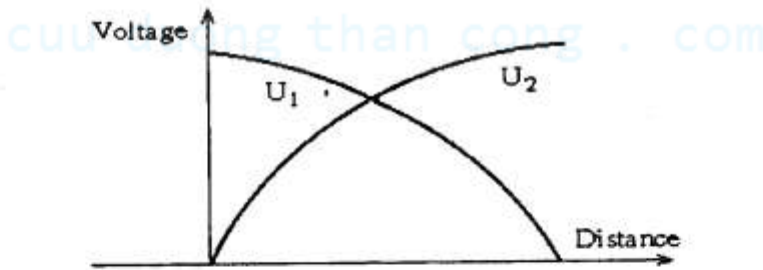
Trên hình 4.37a, hai cuộn sơ cấp và hai cuộn thứ cấp được đặt ở cạnh ngắn của lõi. Việc ghép từ tính giữa các cuộn sơ cấp và thứ cấp được xác định bởi sự phân bố từ thông, gồm từ thông trong lõi và thông lượng nhiễu bất kỳ. Nếu không có vòng ngắn mạch thì hai cặp cuộn dây trái và phải là đối xứng. Khi đó điện áp U_1 và U_2 cảm ứng trong cả hai cuộn thứ cấp sẽ bằng nhau và do đó điện áp đường chéo cầu $U_D = 0$.

Vòng ngắn mạch, được đặt di động trên một trong hai cạnh dài mà không tiếp xúc trực tiếp với cạnh ấy, làm cho nó có thể thay đổi phân bố từ thông trong cửa sổ lõi, do đó thay đổi cả sự ghép từ tính giữa các cuộn sơ cấp và thứ cấp ở một vị trí đặc biệt. Trong hoàn cảnh lý tưởng, vòng ngắn mạch có tác dụng của một từ-kháng phức, lớn đến nỗi từ thông khép kín qua lõi không khí hai bên phải trái vòng ngắn mạch. Nói cách khác, vòng ngắn mạch tác động như một lõi không khí ảo. Biến thiên điện áp đầu ra U_1 và U_2 vẽ trên hình 4.38.



Hình 4.37 – Phần tử biến cảm đo dịch chuyển kiểu biến áp vi sai có vòng ngắn mạch:

- a – Lõi từ mềm khép kín; b – Vòng ngắn mạch;
- c – Các cuộn sơ cấp; d – Các cuộn thứ cấp.

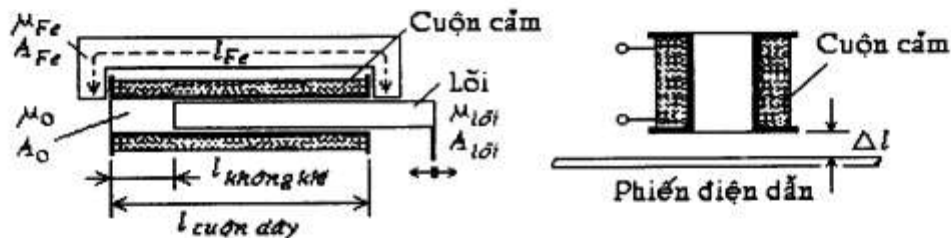


Hình 4.38 – Đường cong điện áp các cuộn thứ cấp.

Tuy nhiên, có thể giảm sai số tuyến tính (lớn nhất là 5 [%]) của điện áp vi sai U_D xuống đến $\pm 0,5$ [%] bằng một mạch hiệu chỉnh điện tử. Bởi vì vòng ngắn mạch có trọng lượng rất nhỏ nên có thể ứng dụng trong những thiết bị đo mà đối tượng đo phải chịu rung động gia tốc đến 300 [g]. Cấu trúc bao plastic bên trong vỏ bọc kim loại cho phép sử dụng ở nhiệt độ môi trường xung quanh đến 180 [°C] trong môi trường khí quyển xâm thực hoặc trong chất lỏng ăn mòn. Khoảng cách đo là 280 [mm].

Trong kỹ thuật xác định vị trí và đo độ dài dịch chuyển, thì các phần tử biến dung *capacitive* ít thông dụng hơn là các phần tử cảm biến điện cảm *inductive*. Phần tử biến cảm có lõi sắt-từ bên trong cuộn dây n vòng. Chuyển dịch lõi sắt-từ sẽ làm thay đổi điện cảm của phần tử (hình 4.39a). Điện cảm của phần tử cảm biến phụ thuộc vào số vòng dây n , độ từ thẩm μ và kích thước hình học của phần tử.

$$L = f(n, \mu, A, l); \quad (4.33)$$



Hình 4.39 – Nguyên lý cấu tạo phần tử biến cảm.

a). Cấu trúc lõi trượt (phần ứng dọc trục);

b). Cấu trúc phần ứng ngang theo nguyên lý thay đổi từ thông.

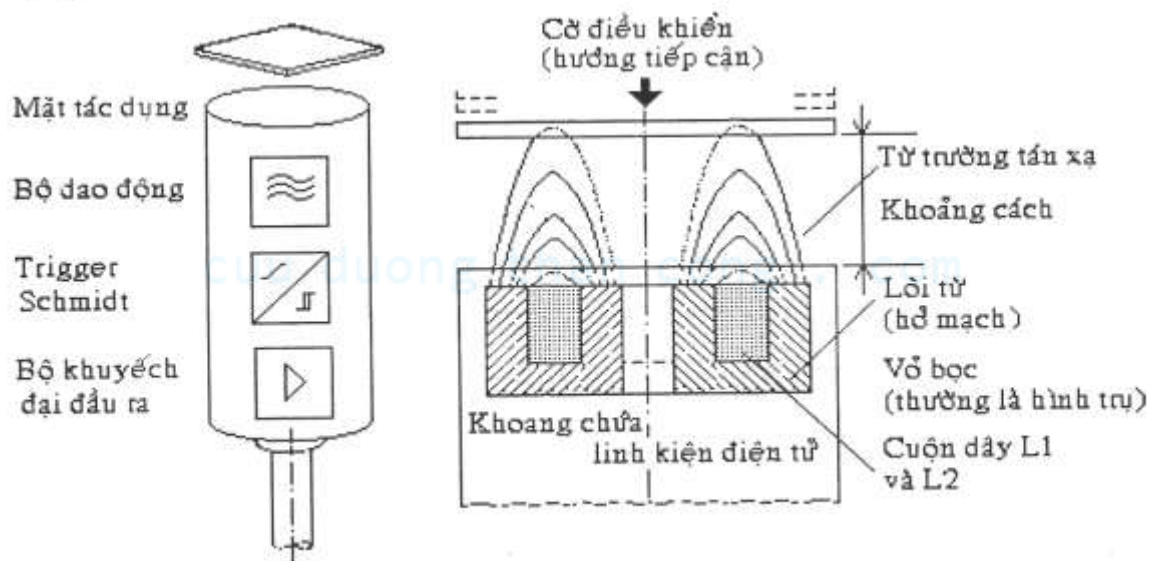
Cấu trúc phần tử biến cảm như vậy được gọi là phần tử lõi trượt (phần tử cảm biến điện cảm có phần ứng dọc). Dạng biến cảm khác là theo nguyên lý thay đổi từ thông (phần ứng ngang). Ở đây có một phiến điện dẫn nằm cách cuộn cảm một khoảng Δl . Khi cung cấp cho cuộn cảm một điện áp xoay chiều, sẽ tạo ra từ trường xuyên qua phiến điện dẫn. Khi đó bên trong phiến sẽ có dòng xoáy Foucault, tạo nên một trường đối ngẫu làm tăng một phần điện trường của cuộn cảm hay là làm giảm điện cảm ban đầu của cuộn cảm (hình 4.39b).

Ở phần trên đã nêu các dạng phần tử biến cảm. Về mặt kỹ thuật thì ứng dụng có ý nghĩa đặc biệt là phần tử cảm biến tiếp cận loại biến cảm có tín hiệu ra analog và phần tử cảm biến khoảng cách theo nguyên lý lõi trượt (phần ứng dọc) hay biến áp vi sai.

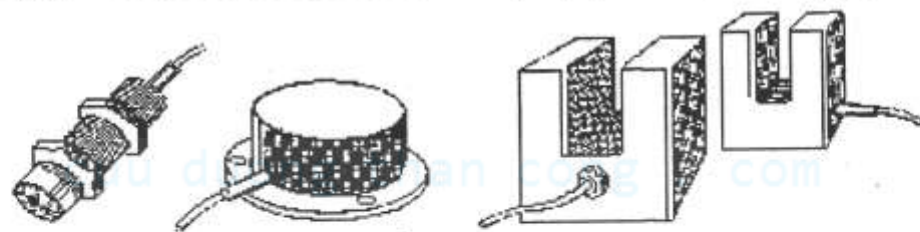
Phần tử biến cảm đo tiếp cận. Phần tử biến cảm tiếp cận làm việc không tiếp xúc. Chúng có bộ dao động hai tầng, mạch trigger

Schmidt và mạch khuếch đại. Hình 4.40 giới thiệu loại phần tử biến cảm này.

Bộ dao động tạo ra một trường điện-từ biến thiên lan truyền trong phần lõi và tán xạ ra môi trường xung quanh. Khi có vật thể dẫn điện nào đó lọt vào trường điện-từ này thì bên trong nó sẽ cảm ứng dòng điện xoáy, rút một phần năng lượng dao động sóng điện-từ. Thông qua mức thay đổi được tạo nên ở đầu ra bộ dao động làm bộ lật trigger Schmidt nhảy bậc và đổi nấc tín hiệu đầu ra của phần tử, tạo sự thay đổi trạng thái tiếp cận. Hình 4.41 giới thiệu những cấu trúc thông dụng.



Hình 4.40 – Phần tử biến cảm đo tiếp cận, cấu tạo và nguyên lý.



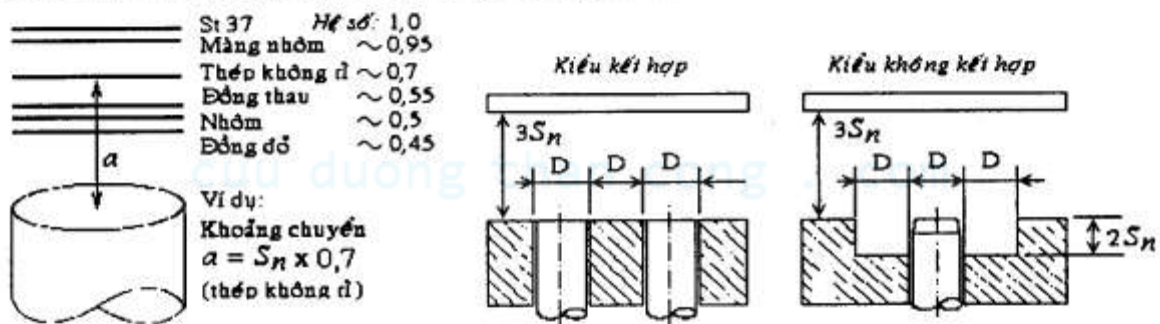
Hình 4.41 – Dạng cấu trúc các kiểu phần tử biến cảm tiếp cận.

Khoảng cách tiếp cận danh định S_N đối với phiến đo có bề dày 1 [mm], hình vuông, có chiều dài cạnh bên tương ứng đường kính bề mặt tích cực của cảm biến. Vật liệu phiến đo là thép, ký hiệu St37. Đó

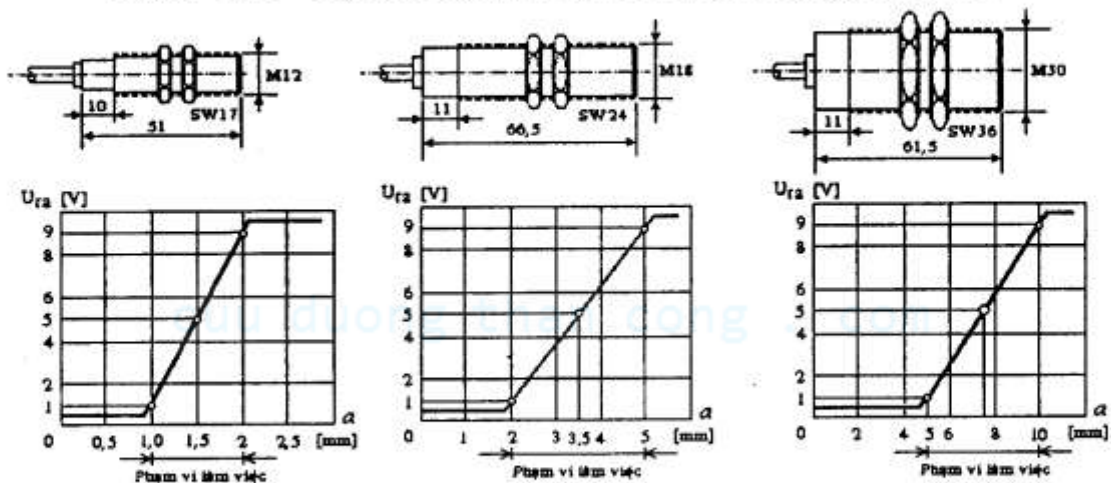
là một vật liệu sắt-từ, có độ suy biến mạch từ đặc biệt lớn. Khoảng cách chuyển trạng thái là khác nhau đối với những vật liệu khác nhau, sẽ giảm nếu không phải là vật liệu sắt-từ. Đối với nhôm thì khoảng tiếp cận bị rút ngắn 50%, còn với đồng thì 55% (hình 4.42).

Ảnh hưởng vật liệu điện dẫn phải được lưu ý đến trong khi thiết kế chế tạo phần tử cảm biến. Lý do là bởi có sự khác nhau giữa cấu trúc kết hợp hay không kết hợp (xem hình 4.42).

Độ trễ giữa các điểm mở và ngắt trạng thái tiếp cận tùy theo cấu trúc, thường trong khoảng (5 ... 20) [%] khoảng chuyển vị. Các trị số đặc tính, mà khi sử dụng phải lưu ý tới, là khả năng tái lập chỉ số, phạm vi nhiệt độ làm việc và tần số chuyển tối đa. Những tham số này được cho trong tài liệu kỹ thuật của phần tử cảm biến.

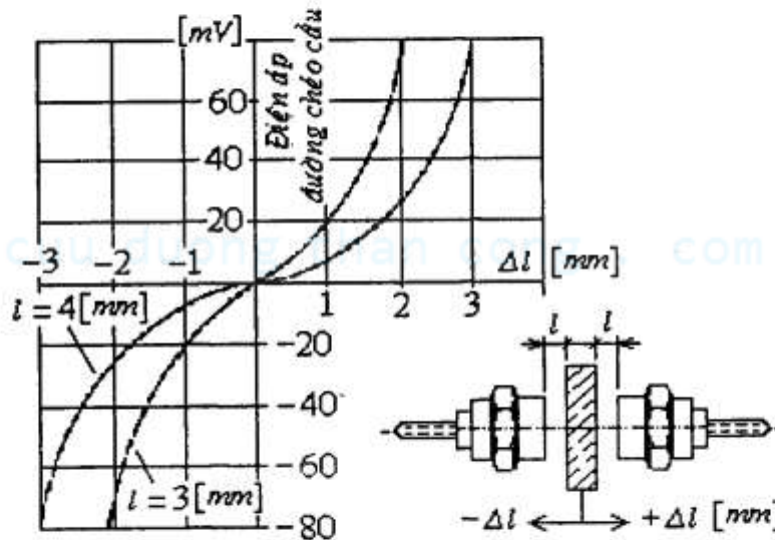


Hình 4.42 – Hệ số rút ngắn và các kiểu dạng cấu trúc.



Hình 4.43 – Đặc tuyến phần tử cảm biến khoảng cách loại biến cảm (hãng Baumer).

Trong số các phần tử biến cảm tiếp cận với khoảng cách chuyển trạng thái tiếp cận nhất định, thì người ta ưu tiên chế xuất những phần tử có tỷ lệ giữa khoảng cách của phiến suy biến mạch từ với độ lớn điện áp ra. Điện áp ra của các phần tử biến cảm loại này giảm một cách tuyến tính trong phạm vi khoảng cách nhất định và có thể ứng dụng làm phần tử cảm biến khoảng cách vật thể. Độ ổn nhiệt và tính tái lập của đặc tính chuyển trạng thái phải được đánh giá tốt xấu tương ứng với từng kiểu phần tử. Vị trí đoạn tuyến tính của đặc tuyến điện áp ra phụ thuộc vào đường kính phần tử. Ảnh hưởng của vật liệu đối với trường điện-từ xoay chiều cũng phải chú ý đặc biệt. Hình 4.43 vẽ đặc tuyến của những phần tử cảm biến loại này.



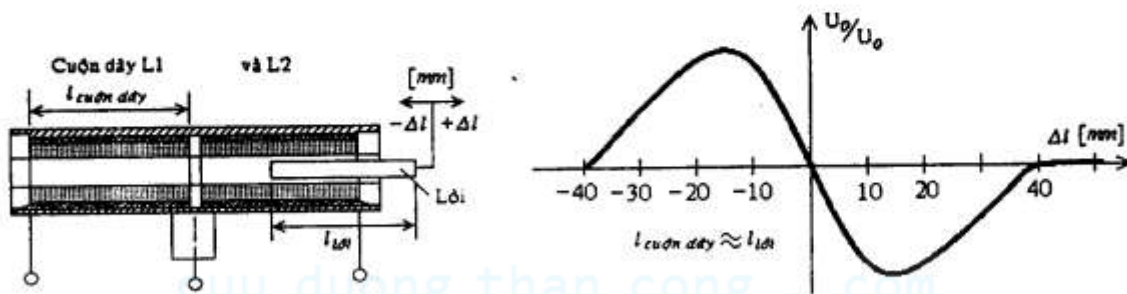
Hình 4.44 – Phần tử biến cảm tiếp cận analog (hãng Vibrometer) dùng cảm biến chuyển dịch.

Trong hình lấy làm ví dụ phần tử cảm biến IWA 30 U 9001 (hãng Baumer) có đường kính 30 [mm], phạm vi làm việc tuyến tính là (5 .. 10) [mm]. Độ sai lệch tuyến tính khoảng $\pm 0,2$ [mm]. Độ dốc đặc tuyến đầu ra là 1,6 [V/mm]. Điện áp cung cấp có thể trong khoảng (13,5 ... 30)[V] mà không ảnh hưởng tới chế độ vận hành của cảm biến. Đầu ra là transistor *pnp* theo sơ đồ collector mở, ... Các phần tử cảm

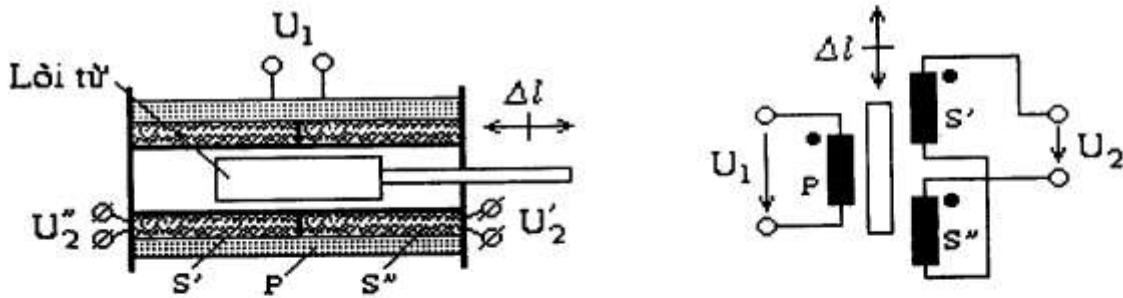
biến loại này được đấu ngắn mạch. Tính tái lập vị trí là $\pm 0,01 [mm]$. Khi vận hành, nhiệt độ phải trong khoảng $(0 \dots 60) [^{\circ}C]$.

Phần tử biến cảm vi sai. Bằng cách sử dụng hai phần tử biến cảm tiếp cận có tín hiệu ra analog và một ngàm kim loại có thể tạo thành phần tử biến cảm đo chuyển dịch kiểu vi sai (hình 4.44). Việc sử dụng hai biến cảm dẫn tới sơ đồ mạch cầu để lượng giá tín hiệu đầu ra của phần tử cảm biến. Và cầu được cung cấp điện áp xoay chiều, nên điện áp đường chéo cầu phải được chỉnh lưu nhạy pha để có thể lượng giá theo dấu của tín hiệu. Sự thay đổi điện cảm cuộn dây cũng có thể thực hiện bằng cách chuyển dịch lõi sắt-từ trong lòng cuộn cảm. Ở đây chủ yếu dùng hai cuộn dây, lõi có vị trí ban đầu ở điểm cân bằng giữa hai cuộn (hình 4.45).

Bên cạnh ảnh hưởng điện cảm của hai cuộn dây lên phần tử cảm biến, ở đây còn có ảnh hưởng của hồ cảm. Bằng cách bố trí cấu trúc phần tử một cách tối ưu, có thể chế xuất phần tử loại này để đo chuyển dịch có độ dài tới $100 [mm]$. Ưu thế của những phần tử cảm biến loại này là cấu trúc không có bộ phận ma sát trượt như ở các phần tử biến trở chiết áp. Cần lưu ý ảnh hưởng nhiệt độ và phạm vi tuyến tính của đặc tuyến phần tử.



Hình 4.45 – Phần tử cảm biến dịch chuyển theo nguyên lý biến cảm có lõi trượt.



Hình 4.46 – Phần tử biến áp vi sai biến thiên thẳng – (LVTD).

Một phương án khác là phần tử biến cảm kiểu biến áp, hình 4.46 giới thiệu nguyên lý đó. Phần tử cảm biến dạng này có thể coi là biến áp vi sai biến thiên thẳng. Các phần tử cảm biến này thường ký hiệu LVTD (*Linear-Variable Differential-Transformer*).

Điện áp ra tỉ lệ với chuyển dịch:

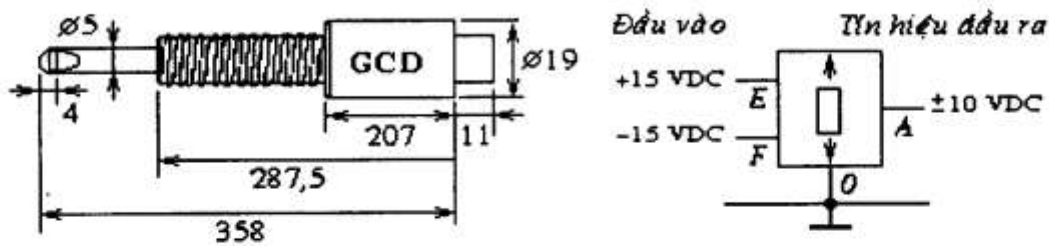
$$U_2 = K_1 \cdot U_1 \cdot \Delta l; \quad (4.34)$$

ở đây: K – lõi sắt-từ mềm; P là cuộn dây sơ cấp; S' và S'' là các cuộn thứ cấp; Δl – độ dịch chuyển của lõi; U_1 , U_2 – điện áp sơ cấp và thứ cấp; K_1 – hệ số tỷ lệ.

Cuộn sơ cấp được cung cấp một điện áp xoay chiều. Các cuộn thứ cấp đấu ngược pha, điện áp bị di pha đi 180° nghịch hướng nhau. Điều đó có nghĩa là khi lõi nằm yên cả hai điện áp sẽ tăng trưởng nghịch hướng nhau. Nếu lõi bị dịch chuyển, thì độ ghép từ cảm các cuộn dây sẽ khác nhau. Như vậy, hiệu điện áp đầu ra hai cuộn dây sẽ là số đo đối với độ lệch của lõi sắt-từ mềm khỏi vị trí cân bằng. Theo sự lượng giá điện áp vi sai này bởi một bộ chỉnh lưu nhạy pha sẽ có tín hiệu điện một chiều với dấu theo hướng dịch chuyển.

Phạm vi đo thông thường là ± 200 [mm]. Độ tuyến tính có thể cỡ $\pm 0,25\%$. Độ phân giải ở đây – cũng như trường hợp phần tử biến trở màng chất dẻo điện dẫn – là vô cùng, độ trễ do hướng dịch chuyển là rất nhỏ. Các phần mạch điện tử cần thiết được lắp ráp luôn trong phần tử.

Ví dụ: Hình 4.47 là máy đo chuyển dịch GCD-121-1000 (hãng Schaennitz). Phần tử cảm biến này có bộ phận điện tử xử lý tín hiệu. Điện áp làm việc là ± 15 [V], Nhiệt độ môi trường cho phép nằm trong khoảng $(-18 \dots +70)$ [$^{\circ}C$]. Ở trạng thái tĩnh, điện áp ra là 0 [V]. Phạm vi đo ± 25 [mm] với sai số tuyến tính $\pm 0,25\%$. Tính tái lập là $0,6$ [μm]. Tín hiệu đầu ra có thể cỡ ± 10 [V], khi đó điện trở tải phải cỡ 200 [Ω].

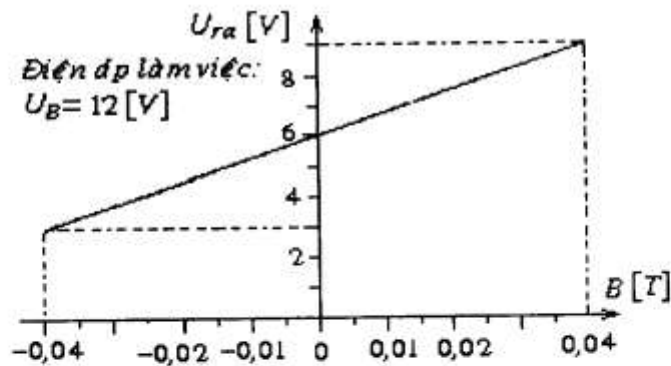


Hình 4.47 – Máy đo độ chuyển dịch (hãng Schaenitz)

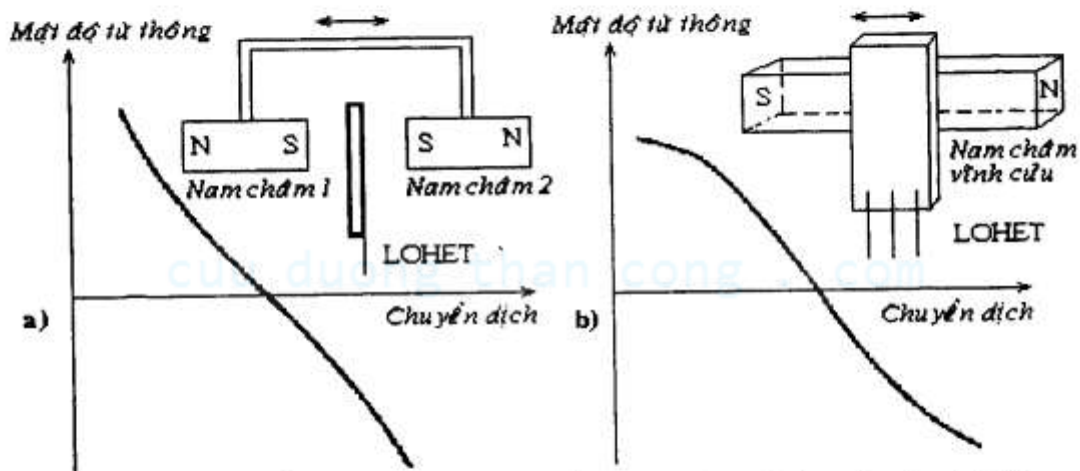
4.2.5 – Các phần tử cảm biến chuyển vị khác.

Trong các mục trên chủ yếu chúng ta khảo sát các phần tử cảm biến chuyển vị thẳng theo nguyên lý cảm biến tham số: biến trở, biến cảm và biến dung. Ở đây chúng ta sẽ khảo sát các dạng phần tử cảm biến chuyển vị dựa trên cơ sở các nguyên lý vật lý khác.

Phần tử cảm biến dịch chuyển theo hiệu ứng Hall. Phần tử cảm biến Hall có tích hợp bên trong một bộ tạo dao động Hall, bộ điều chỉnh điện áp và bộ khuếch đại đo lường. Hãng Honeywell ký hiệu phần tử cảm biến chuyển dịch thẳng này là LOHET (*Linear Output Hall Effect Transductor*). Trong phạm vi mật độ từ thông ± 40 [mT] nó có sai số tuyến tính cỡ $1,5\%$ và độ nhạy 75 [mV/mT] với điện áp nguồn là $+12$ [V]. Hình 4.48 biểu diễn điện áp ra như là hàm của mật độ từ thông.



Hình 4.48 – Điện áp ra của phần tử cảm biến Hall LOHET (hãng Honeywell).



Hình 4.49 – Ứng dụng cảm biến Hall làm phần tử cảm biến dịch chuyển.

Các thông số kỹ thuật khá cao như độ tuyến tính điện áp đầu ra và độ phân giải cao, đạt được do cấu trúc phần tử (hình 4.49a). Khi dịch chuyển về phía phải thì nam châm (2) tác động lên cảm biến mạnh hơn nam châm (1) và cho điện áp ra nhỏ hơn so với khi chúng nằm ở vị trí giữa cân bằng. Cấu trúc hình 4.49b có đặc tuyến điện áp ra có đoạn tuyến tính dài hơn.

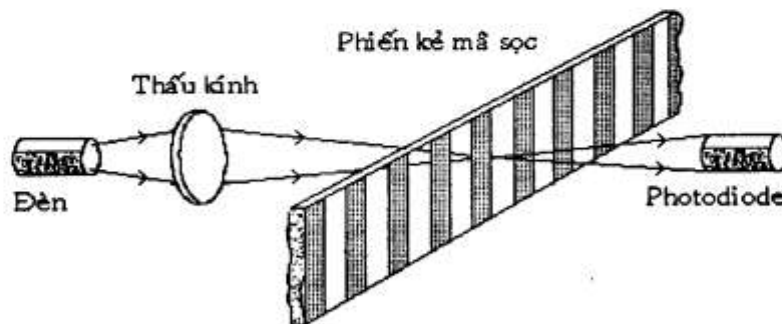
Phần tử cảm biến dịch chuyển siêu âm. Phần tử cảm biến khoảng cách kiểu siêu âm được ứng dụng để nhận biết đối tượng bằng tần số sóng siêu âm cao hơn 200 [kHz]. Phần tử cảm biến phát ra sóng

xung siêu âm với tốc độ lan truyền c , bị phản xạ lại từ đối tượng nằm trong vùng chùm tia bức xạ hình chóp nón. Sóng phát xạ ngất quăng. Trong khoảng thời gian giữa những lần phát xạ siêu âm, bộ phận thu tác hoạt và thu nhận sóng phản xạ. Từ khoảng thời gian t_L lan truyền sóng siêu âm từ nguồn phát xạ tới đối tượng và phản xạ lại tới bộ thu sóng có thể tính ra khoảng cách tới đối tượng x_L bằng:

$$x_L = \frac{1}{2} \cdot c \cdot t_L. \quad (4.35)$$

Khoảng thời gian giữa thời điểm kết thúc xung phát xạ và thời điểm có xung tạo ra từ bộ phận thu khi nhận được sóng phản xạ, được đếm bằng máy đếm điện tử và coi là lượng t_L . Trong các phần tử cảm biến siêu âm loại mới thì việc lượng giá tín hiệu và điều khiển được thực hiện bởi mạch vi xử lý microprocessor. Phạm vi đo thường là (150 ... 1500) [mm]. Độ phân giải cao hơn 1 [mm].

Phần tử cảm biến dịch chuyển quang. Các phần tử cảm biến quang ứng dụng trong kỹ thuật đo dịch chuyển chủ yếu dựa trên cơ sở nguyên lý được trình bày ở hình 4.50.

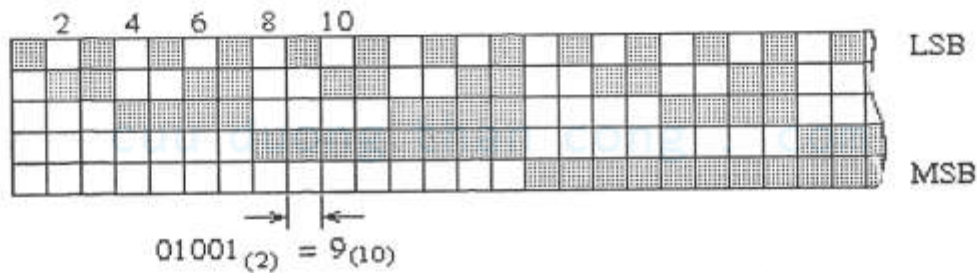


Hình 4.50 – Nguyên lý phần tử quang đo dịch chuyển.

Theo phương pháp này, dịch chuyển cần đo được phân thành những đoạn nhỏ. Một màn quang học được tạo thành như vậy sẽ được chiếu tia sáng cho xuyên qua hoặc phản xạ lại. Mỗi chuyển dịch của màn quang học này được điều khiển bởi những xung trích mẫu và sẽ

được đếm. Số lượng xung đếm được là số đo khoảng dịch chuyển. Một trong những phương pháp như vậy được gọi là phương pháp gia lượng *Incremental-*, bởi nó gồm từng nấc đo gộp lại. Độ chính xác không cao hơn độ rộng mỗi nấc của màn quang. Theo nguyên lý, đây là phương pháp đo tương đối, bởi có thể bắt đầu từ một điểm bất kỳ nào đó. Bằng cách đưa ra một điểm dấu mốc có thể biến phương pháp đo này thành phương pháp đo tuyệt đối. Để có thể đạt độ chính xác cao hơn, phải chế màn quang học thật là tinh. Đĩa thủy tinh khắc vạch cho phép tạo các vạch cách nhau 0,005 [mm].

Để khi đánh giá số đo tránh khởi động điểm mốc, người ta chọn phương pháp mã hoá với đồng thời trích mẫu nhiều màn quang. Theo kỹ thuật số *digital-*, mỗi nấc tương ứng một số nhị phân (hình 4.51).

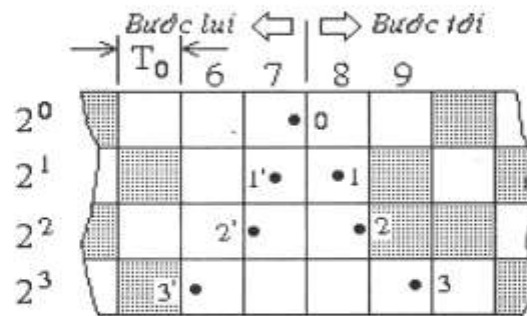


Hình 4.51 – Thước mã nhị phân đo chuyển dịch.

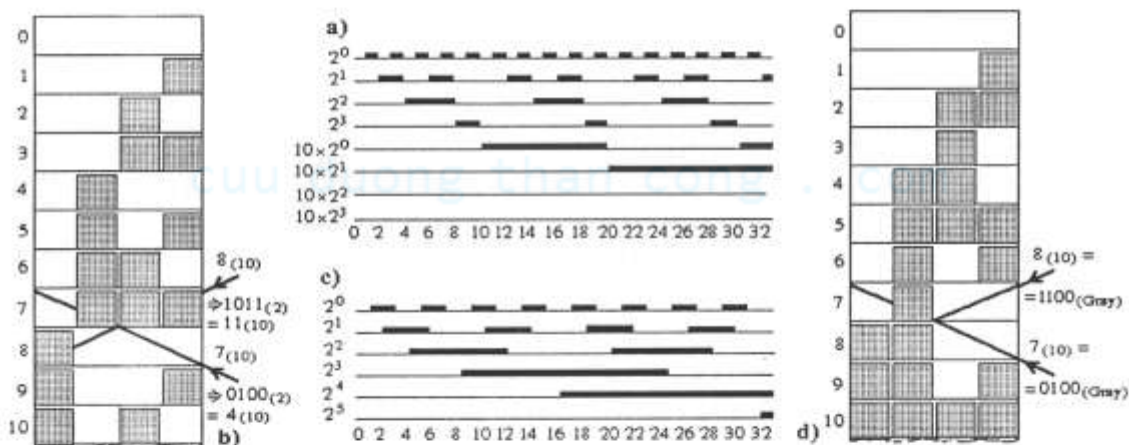
Trong phương pháp này thì điều khó khăn gặp phải là việc thu nhận chính xác màn quang cũng như sự biến đổi rõ nét sáng-tối. Để tránh sai số đọc này người ta chủ yếu dùng phương pháp trích mẫu V- (hình 4.52). Trong kiểu trích mẫu chữ V mỗi bước được thực hiện tới và lui. Có một logic trích mẫu đảm bảo rằng mỗi giá trị tới sẽ được đem so cân bằng với giá trị lùi.

Bên cạnh mã nhị phân người ta còn dùng thước mã BCD. Hình 4.53a giới thiệu thước mã BCD dùng đo dịch chuyển. Nếu chỉ trích mẫu mã nhị phân một cách thuần túy (hình 4.53b), thì rất có thể gặp phải sai số đọc, cho thông tin sai lạc. Để tránh những sai số trích mẫu như vậy người ta sử dụng những mã mà trong đó mỗi bước chỉ thay đổi

một số. Chủ yếu đó là mã Gray (hình 4.53c). Rõ ràng ở đây khác với trường hợp mã nhị phân người ta khác phục được sai số dịch số (hình 4.53d).



Hình 4.52 – Trích mẫu theo kiểu chữ V.



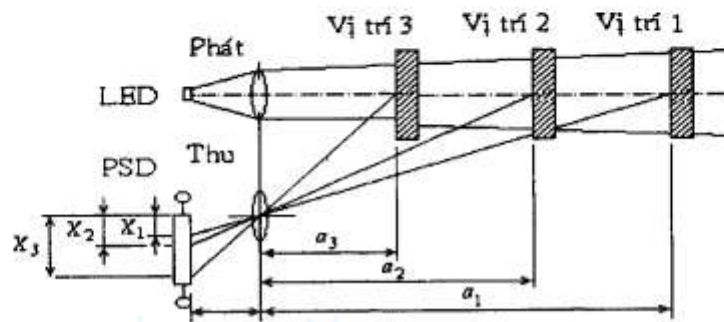
Hình 4.53 – Thước mã dùng đo dịch chuyển:

- a). Thước mã BCD; b). Sai số trích mẫu theo mã nhị phân;
 c). Thước mã Gray; d). Trích mẫu mã Gray.

Phần tử laser đo khoảng cách. Laser là nguồn phát xạ *Radiation Sources*, được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực, nhất là trong kỹ thuật đo lường và điều khiển – laser bán dẫn *Laser Diodes* hay *LASER Light Amplification by Stimulated Emission Radiation*. Nguyên lý, đặc điểm ứng dụng của các nguồn phát xạ này thuộc loại các phần

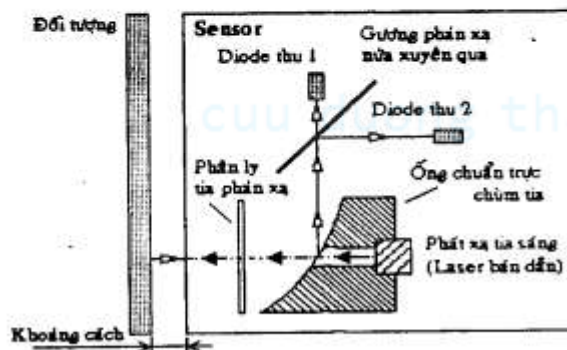
tử cảm biến quang học đã được trình bày ở phần trên (chương 2, phần tử cảm biến ánh sáng, nguồn sáng).

Trong kỹ thuật robotics người ta ứng dụng phương pháp quang học đo khoảng cách dùng kỹ thuật laser. Máy phát laser chiếu ra một tia sáng, phản chiếu lại từ đối tượng. Qua một thấu kính tia phản xạ sẽ được hội tụ vào phần tử cảm biến tuyến tính nhạy quang. Vị trí của điểm sáng tạo nên trên phần tử cảm biến là số đo khoảng cách. (hình 4.54). Nhưng cũng như trong các phương pháp trích mẫu, ở đây độ chính xác không cao.



Hình 4.54 – Nguyên lý quang học đo khoảng cách.

Bên cạnh các phần tử cảm biến quang theo những nguyên lý cấu tạo nêu trên, còn có phương án cấu trúc hình 4.55, nguồn sáng phát ra một tia sáng và cũng trong bộ phận này thu lại tia sáng phản xạ. Khi đó người ta đo cường độ ánh sáng laser tán xạ. Cường độ tán xạ này phụ thuộc vào khoảng cách và độ nhẵn bóng của bề mặt phản xạ. Bằng hai phép đo với độ điều tiêu khác nhau sẽ tách biệt được hai hiệu ứng đó.



Hình 4.55 – Phần tử cảm biến quang học đo khoảng cách.

4.2.6 – Cảm biến chuyển dịch góc *angular*-.

Các phần tử cảm biến đo góc chủ yếu ứng dụng các nguyên lý như những phần tử đo số vòng quay và góc chuyển vị.

Phần tử biến trở chiết áp potentiometer. Đơn giản nhất là phương án đo góc quay dùng phần tử biến trở *potentiometer*. Những phần tử biến trở này được chế xuất dạng biến trở dây cuốn, màng carbon hay màng mỏng điện dẫn (xem mục 4.2.2). Các biến trở được tạo dạng hình đường tròn. Ở tâm điểm có trục gắn con trượt và tay quay hay bộ phận giá dẫn động, sao cho con trượt có thể dịch chuyển giữa hai đầu biến trở. Với biến trở dây cuốn thì phải tính đến sự biến thiên điện trở theo nấc, trong khi loại màng than hay chất dẻo điện dẫn thì độ phân giải gần như là “vô cấp”. Tuổi thọ vận hành của các phần tử cảm biến góc quay này có thể tới 100×10^6 lần trượt, tính năng tái lập giá trị đo cao và có độ trễ nhỏ. Có thể đạt độ không tuyến tính cỡ 0,025 [%].

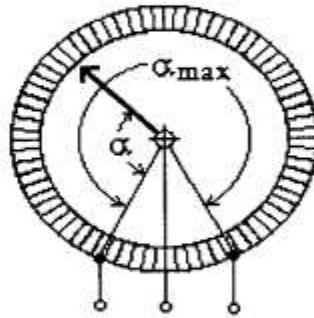
Các phần tử biến trở đo góc được mắc theo sơ đồ phân áp. Độ ổn định nguồn điện áp cung cấp cho phân áp có ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả đo, nên ở đây đặt ra những yêu cầu khá cao đối với nguồn cung cấp. Độ lớn điện áp nguồn cung cấp phụ thuộc vào cấp công suất tổn hao của phần tử chiết áp.

Thông thường, trị số điện trở của các phần tử biến trở đo góc là (1 – 4,7 – 10) [$k\Omega$]. Do những ứng dụng cụ thể khác nhau nên trên thực tế ngày càng có nhiều loại có trị số điện trở phong phú hơn. Các phần tử biến trở đo góc quay ở dạng đơn giản có phạm vi vận hành là từ 0 đến 350° (hình 4.56), tức là không hết cả đường tròn.

Đối với phạm vi góc đo lớn hơn, có thể dùng loại biến trở nhiều cấp, nhiều vòng. Thông thường là các dạng chế xuất có 2, 5, 10 và $20 \times 360^\circ$ (tức là 2, 5, 10, và 20 vòng).

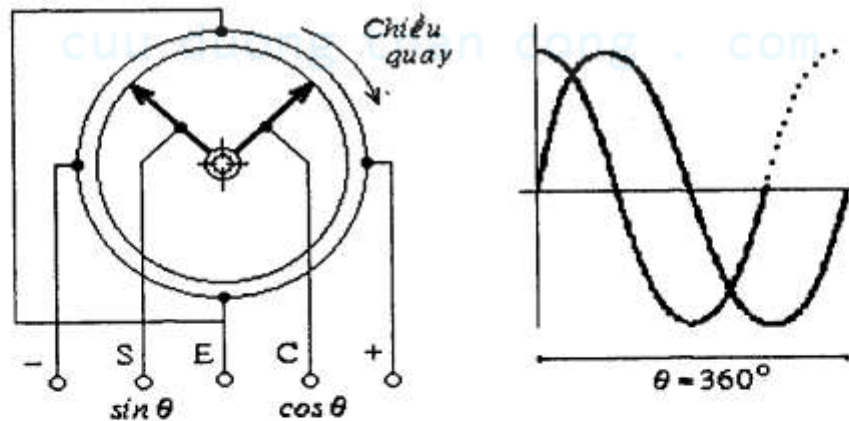
Kết cấu vỏ bọc của phần tử đo có thể thực hiện theo nhiều cách rất khác nhau. Để xử lý tín hiệu ra của các phần tử biến trở đo chuyển

dịch thẳng hay góc quay, có linh kiện vi mạch chức năng chuyên dụng, nguồn cung cấp có thể là nguồn áp hằng 2,5 [V] hay nguồn dòng hằng cỡ 0,5 và 2,5 [mA]. Tín hiệu ra thường là tín hiệu chuẩn hoá cỡ 0 hay 4 đến 20 [mA] hoặc là tín hiệu đối xứng ± 10 [mA]. Có thể đặt trước điểm 0 và phạm vi làm việc.



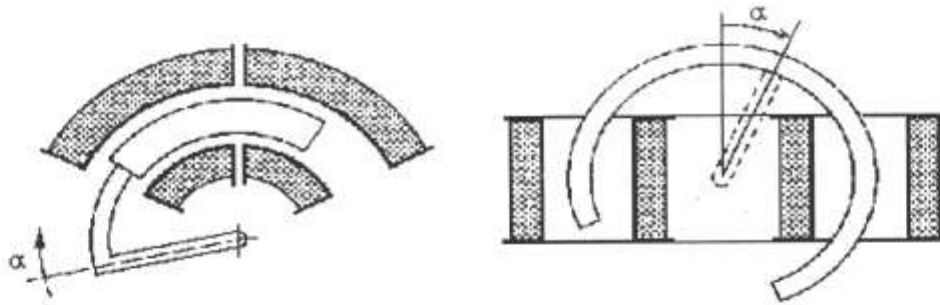
Hình 4.56 – Phần tử biến trở chiết áp đo góc.

Loại chiết áp sin-cos có thể quay cả vòng tròn. Hình 4.57 giới thiệu một dạng cấu trúc và đồ thị biến thiên điện áp đầu ra.



Hình 4.57 – Phần tử biến trở sin-cos- đo góc.

Phần tử biến cảm inductive- đo góc quay. Ở các phần tử biến cảm đo góc quay lõi sắt không dịch chuyển thẳng mà có thể xoay. Hình 4.58 giới thiệu nguyên lý một phần tử biến cảm đo góc như vậy.

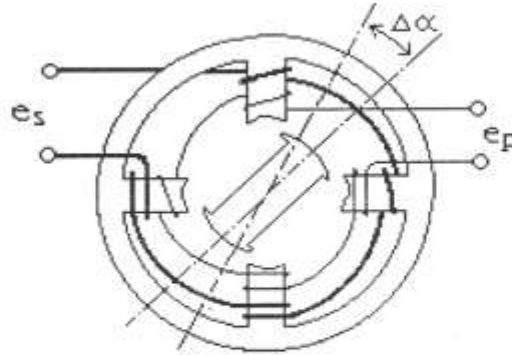


Hình 4.58 – Nguyên lý chức năng một phần tử biến cảm *inductive*-đo góc.

Thường thì hai cuộn cảm của phần tử được cung cấp nguồn điện áp xoay chiều. Trong mạch đo (mạch cầu) các cuộn dây tạo thành một cầu nửa điện cảm. Bằng bộ giải điều chế *demodulator* có thể nhận dạng dấu của tín hiệu điện áp một chiều ở đầu ra (điện áp đường chéo cầu). Tín hiệu ra không biến thiên theo nấc, mà trơn và ổn định. Ở đây tính tái lập giá trị đo là rất khả dĩ, không gặp phải hiệu ứng trễ *hysteresis*. Khoảng gần điểm 0 cũng như khi lõi sắt ở vị trí giữa thì sai số tuyến tính là nhỏ nhất. Do cấu trúc đối xứng nên điểm 0 nằm chính giữa khoảng phạm vi làm việc, bằng cách xử lý tín hiệu tương ứng có thể dịch điểm không này. Phần tử biến cảm đo góc có thể đo đến $\pm 45^\circ$ với độ nhạy cỡ 60 [mV] mỗi độ góc.

Microsyn. Hình 4.59 giới thiệu nguyên lý máy đo góc chuyển vị *microsyn*. *Microsyn* là máy đo theo nguyên lý biến áp vi sai có phần ứng là lõi sắt-từ. Phần tĩnh là stator 4 cực mắc các cuộn dây sơ cấp và thứ cấp. Các cuộn sơ cấp mắc nối tiếp, được cung cấp điện áp tần số 10 [kHz], độ lớn vài chục volt. Các cuộn thứ cấp được mắc nối tiếp sao cho từ thông trên các cặp cực stator và sức điện động cảm ứng trên các cuộn thứ cấp là xung đối so với sơ cấp. Khi lõi sắt-từ phần động ở vị trí trục đối xứng của hai cặp cực stator, từ thông của các cặp cực và sức điện động cảm ứng là bằng nhau nên điện áp đầu ra bằng 0, tương ứng điểm 0 của cảm biến. Khi lõi sắt-từ phần động dịch chuyển đi một góc,

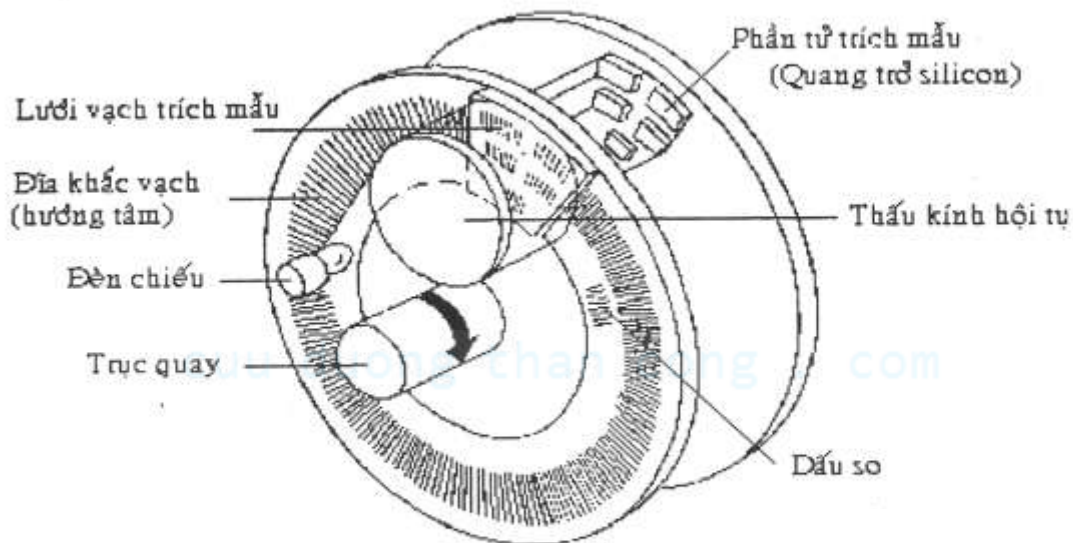
từ thông và điện áp cảm ứng trong các cuộn thứ cấp sẽ biến thiên và điện áp đầu ra tỷ lệ với dịch chuyển góc.



Hình 4.59 – Máy đo microsyn.

Chi tiết hơn về nguyên lý, cấu tạo của microsyn sẽ được nêu ở phần sau (Phụ lục 2 – Phần tử cảm biến thông tin).

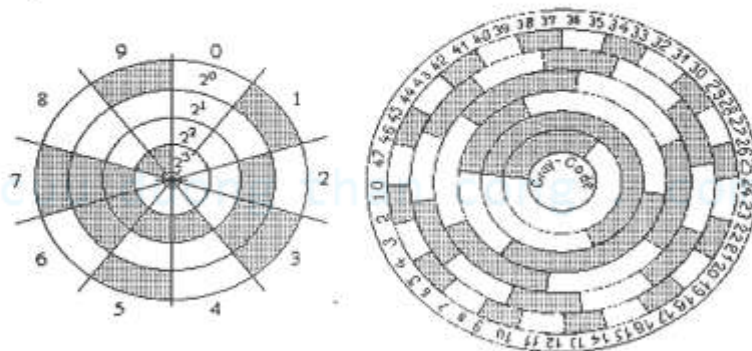
Phần tử chỉ thị số gia lượng Incremental- đo góc quay. Phương pháp đo vị trí và dịch chuyển *incrementally*- (gia lượng) là phương pháp chỉ thị số. Ở đây các vạch dấu hay phần sáng-tối của phần tử cảm biến góc quay được tạo hình một cách phù hợp (hình 4.60).



Hình 4.60 – Cấu trúc phần tử cảm biến góc gia lượng *Incremental*-.

Số xung tạo ra sẽ được cộng vào một bộ đếm và đưa ra độ lớn của góc đo từ số bước đặt ngược. Mỗi điểm của đĩa xung có thể xác định điểm đầu phép đo. Khi đó bộ đếm sẽ được đặt về 0. Sau mỗi lần ngưng làm việc thì phải xác định lại vị trí điểm 0 như đã giải thích trong phần hoạt động của phần tử gia lượng thẳng. Việc này diễn ra bằng cách đi tới điểm dẫn xuất hay dấu so và quy “0” bộ đếm. Để nhận biết hướng quay có thể trở lại các phương pháp thông thường của hai dạng phần tử đo góc quay đã nêu. Ở đây cũng có thể đạt độ phân giải cao bằng cách đếm xung nhiều lần với hai chuỗi xung trong mỗi nửa chu kỳ. Khi số xung cho mỗi vòng quay là khoảng 5000 xung thì bằng cách nhân bốn có thể đạt số xung cho mỗi vòng quay là 20000 xung.

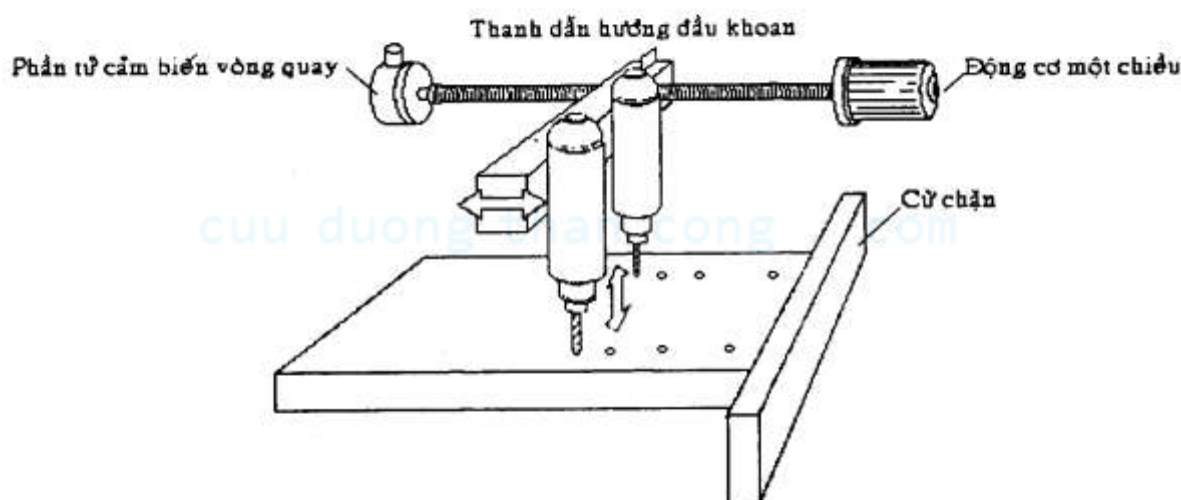
Phần tử cảm biến đo góc loại tuyệt đối *absolution*- phải cho thông tin tường minh đối với mỗi vị trí góc. Ở đây cần có đĩa mã để tạo xung. Mã gốc gồm nhiều đường có vùng sáng-tối. Số đường sẽ xác định độ phân giải, được in thành bước mỗi 360° . Hình 4.61 giới thiệu loại đĩa mã như vậy. Mỗi mã gốc được bắt đầu từ vùng 0. Khác với loại đĩa xung, sau khi ngưng làm việc các loại đĩa mã có thể trở lại vị trí này ngay lập tức. Ở đây chủ yếu dùng mã Gray. Theo một dạng chuyển đổi, mã Gray cũng có thể chia theo kiểu thập phân, ví dụ 1000 bước cho mỗi 360° , hay chia theo độ góc, ví dụ 3600 bước cho mỗi 360° . Bằng một bộ chuyển mã có thể chuyển đổi, ví dụ trở lại mã BCD chẳng hạn.



Hình 4.61 – Các đĩa mã đo góc.

Cũng có thể đo góc lớn hơn 360° . Ở đây, bên cạnh đĩa mã đầu tiên được dẫn động trực tiếp, các đĩa mã tiếp theo sẽ được dẫn động theo những dịch dịch khác nhau. Bằng cách đó có thể tăng dung lượng của đĩa mã, vốn có số bước toàn phần xác định theo số bước nhất định cho mỗi vòng quay. Cách mã hoá độ góc như vậy cũng được dùng để đo khoảng cách dài (chuyển vị thẳng).

Hình 4.62 giới thiệu một thiết bị chuyển đổi dịch chuyển thẳng thành chuyển động quay. Phương pháp này đặc biệt được ứng dụng ở những nơi chuyển động quay tạo ra những dịch chuyển thẳng, ví như dịch chuyển bàn mâm máy công cụ như máy phay, máy khoan ...



Hình 4.62 – Một ứng dụng phần tử cảm biến góc quay.



cuu duong than cong . com

BÀI 6

KỸ THUẬT CẢM BIẾN VẬN TỐC VÀ GIA TỐC.

Chương 4

CẢM BIẾN VÀ ĐO CÁC CHUYỂN VỊ VẬT THỂ PHẦN 2

Mục tiêu bài này tập trung vào những khái niệm cơ bản và kỹ thuật cảm biến chuyển dịch vật thể trong không gian theo thời gian, các ứng dụng đo lường vận tốc, gia tốc, độ chấn động (độ rung) – gồm 2 phần của chương 4.

Nội dung cơ bản mà SV phải nắm được ở bài này là những vấn đề trọng tâm sau:

- Khái niệm đại cương về vị trí và chuyển vị vật thể và những đặc điểm xác định chúng. Các loại phần tử cảm biến ứng dụng trong kỹ thuật đo lường điều khiển định vị, kết cấu, hoạt động chức năng, các đặc tính kỹ thuật, đặc điểm ứng dụng.
- Các vấn đề ứng dụng thực tiễn các phần tử cảm biến và điều khiển chuyển dịch, định vị vật thể trong công nghiệp để có nhận thức và kỹ năng tổng hợp, thiết kế và chế tạo hệ thống cụ thể trong thực tế môi trường ứng dụng.
- Bài 6 tập trung trọng tâm là kỹ thuật cảm biến các chuyển dịch vật thể vận động theo thời gian (phần 2): vận tốc và gia tốc, bằng các phần tử cảm biến ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp và dân dụng.

Thời lượng bài giảng là 04 tiết/45 tiết lên lớp theo chương trình môn học là 03TC (45 tiết) và 04 tiết tự nghiên cứu.

4.3 – Cảm biến tốc độ và gia tốc chuyển vị.

4.3.1 – Khái niệm chung.

Như ta biết, phân biệt vận tốc góc và vận tốc thẳng (tịnh tiến). Vận tốc góc là vector đặc trưng cho chuyển động quay của một vật:

$$\vec{\omega} = \frac{d\varphi}{dt} \cdot \vec{n}; \quad (4.36)$$

trong đó: $d\varphi$ là góc quay trong khoảng thời gian dt ; \vec{n} là vector đơn vị nằm trên trục quay và có hướng (sao cho khi ta đứng cạnh trục quay và nếu cho vector ấy hướng từ chân lên đầu thì thấy vật quay từ phải sang trái). Đơn vị vận tốc góc là $[\text{rad}/s]$, trong kỹ thuật thường đo bằng $[\text{vòng/phút}]$.

Người ta cũng phân biệt gia tốc góc với gia tốc dài. Gia tốc góc là đại lượng vector đặc trưng cho sự thay đổi vận tốc góc của vật rắn trong chuyển động quay quanh một trục. Gia tốc góc $\vec{\epsilon}$ bằng đạo hàm của vận tốc góc $\vec{\omega}$ theo thời gian:

$$\vec{\epsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}. \quad (4.37)$$

Gia tốc góc liên hệ với moment lực M tác dụng lên vật và moment quán tính I của vật theo biểu thức:

$$\vec{M} = I \cdot \vec{\epsilon}. \quad (4.38)$$

Đơn vị của gia tốc góc theo hệ SI là $[\text{rad}/s^2]$.

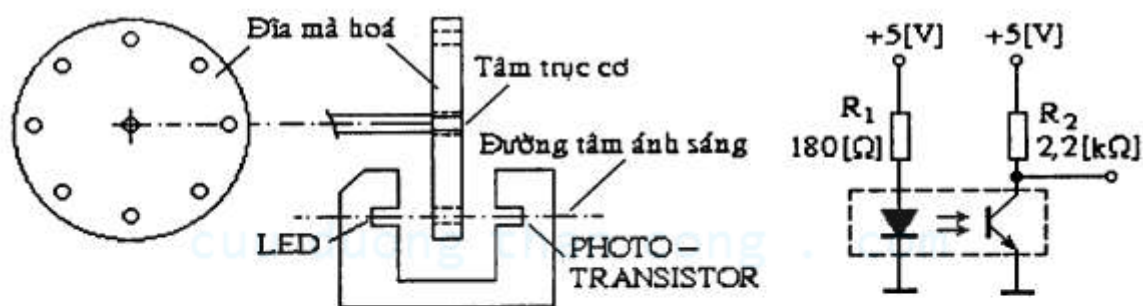
4.3.2 – Cảm biến đo vận tốc.

Trong kỹ thuật công nghệ, các đại lượng vận tốc và gia tốc được quan tâm chủ yếu là thông số đặc trưng trạng thái tương ứng của máy – do đó thông thường là tốc độ quay – và các cảm biến đo lường ở đây thông dụng là cảm biến tốc độ góc. Nguyên lý hoạt động chung của các cảm biến loại này là nguyên lý chung của máy điện – sức điện động tỷ lệ với vận tốc hệ truyền động. Đại lượng gia tốc ở đây tập trung vào các dạng cảm biến độ rung, chấn động.

Các phương pháp đo tốc độ quay của phần động *rotor*:

- Sử dụng máy phát tốc – có độ chính xác thấp, cần chuyển đổi A/D để số hoá tín hiệu đo. Về nguyên lý, các máy phát tốc là phần tử thông tin trong hệ đo lường và điều khiển – khảo sát cụ thể hơn được nêu trong Phụ lục 2.
- Sử dụng cảm biến quang với đĩa mã hoá – theo phương pháp mã hoá gia lượng *Incremental Encoder*.
- Sử dụng máy đo góc tuyệt đối – theo phương pháp đo *absolute*-, dạng máy đo *Resolver*.
- Đo gián tiếp dòng và áp phần tĩnh *stator* để xác định tốc độ quay. Đây là phương pháp không có cảm biến tốc độ. Ý tưởng của phương pháp là tốc độ động cơ được lượng giá từ điện áp và dòng stator (trên cơ sở tính toán tốc độ từ hệ phương trình động học của động cơ) và dùng làm tín hiệu phản hồi của mạch vòng điều chỉnh tốc độ (trên cơ sở mô hình hệ động của động cơ).

Phần tử cảm biến *Incremental Encoder*. Là phần tử cảm biến tốc độ quay dùng cảm biến quang với đĩa mã hoá. Tốc độ quay được xác định theo nguyên lý của một trong hai phương pháp cơ bản xác định vị trí và dịch chuyển: thông qua số xung đếm ứng với chuyển vị cơ bản của cảm biến.



Hình 4.63 – Cảm biến quang đo tốc độ với đĩa mã hoá:

a). Nguyên lý cảm biến; b). Nguyên lý photo-transistor.

Sơ đồ sử dụng bộ cảm biến quang: một đĩa mã hoá được đặt giữa nguồn phát tia hồng ngoại (diode quang LED) và đầu thu (photo-transistor) (hình 4.63). Tốc độ quay n được xác định theo biểu thức:

$$n = \frac{60N}{4N_0T_n}, \text{ [vòng/phút];} \quad (4.39)$$

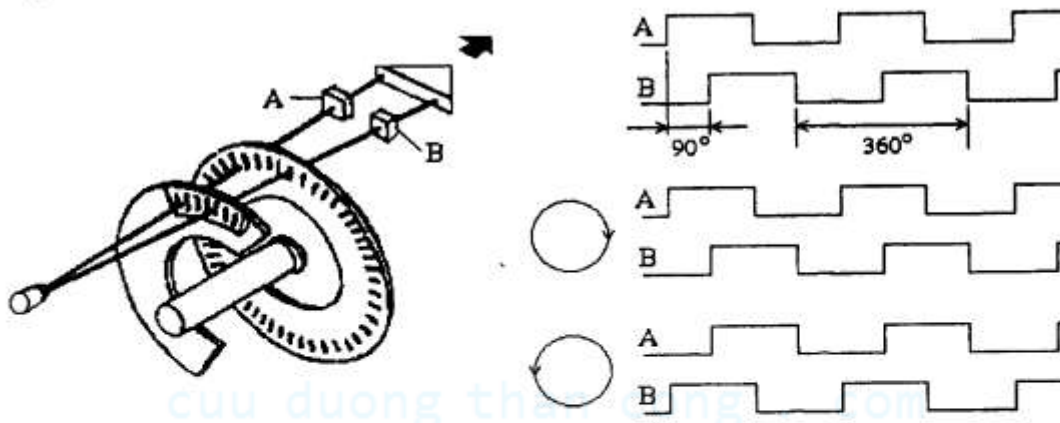
ở đây: T_n - chu kỳ điều chỉnh tốc độ = chu kỳ đếm xung, [s];
 N_0 - số xung trong một vòng quay = độ phân giải của cảm biến; N - số xung đếm trong khoảng thời gian T_n . Để xác định chiều quay, cần sử dụng bộ cảm biến kép (hai đĩa mã hoá, hai LED và hai photo-transistors, hình 4.64).

Khi đĩa quay ta nhận được hai chuỗi xung lệch pha nhau 90° , chiều quay được xác định bằng cách so pha hai tín hiệu.

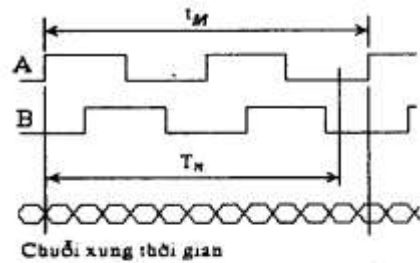
Để tăng độ phân giải có hai giải pháp:

- Tăng số lỗ (2" lỗ) trong một rãnh trên đĩa mã hoá (n rãnh);

Phối hợp đếm xung với đo thời gian: trong phạm vi xung chốt chu kỳ T , đồng thời đếm chuỗi xung thời gian có tần số đặt trước (hình 4.65).



Hình 4.64 – Cảm biến quang đo tốc độ quay hai chiều.

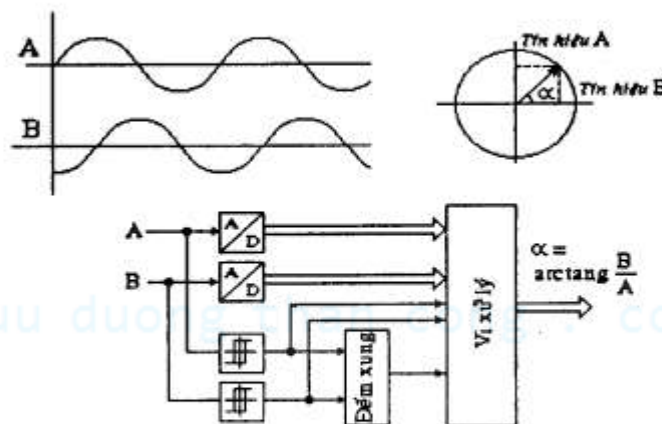


Hình 4.65 – Biểu đồ tín hiệu phương pháp phối hợp đếm xung thời gian.

Đồng thời đo khoảng thời gian t_M giữa hai sườn xung lân cận thời điểm bắt đầu và kết thúc chu kỳ đếm $T_n \approx t_M$, biến đổi biểu thức (4.38) và lấy đạo hàm riêng của n (theo N và Δt), ta có:

$$dn = \frac{60}{4N_0\Delta t} dN - \frac{60N}{4N_0(\Delta t)^2} d(\Delta t) \approx -\frac{n}{\Delta t} d(\Delta t); \quad (4.40)$$

trong đó số hạng đầu có thể bỏ qua vì sai số đếm xung chốt $dN \approx 0$. Khi đó, nếu $n = 3000$ [vòng/phút], độ phân giải thời gian là $d(\Delta t) = 50$ [ns], thì độ phân giải $dn = 0,15$ [vòng/phút]. Như vậy, phương pháp phối hợp đo thời gian có độ phân giải không phụ thuộc đĩa mã hoá mà chỉ phụ thuộc tần số chuỗi xung thời gian. Hình 4.66 giới thiệu một phương án đo như vậy với hai kênh phát xung dạng sin.



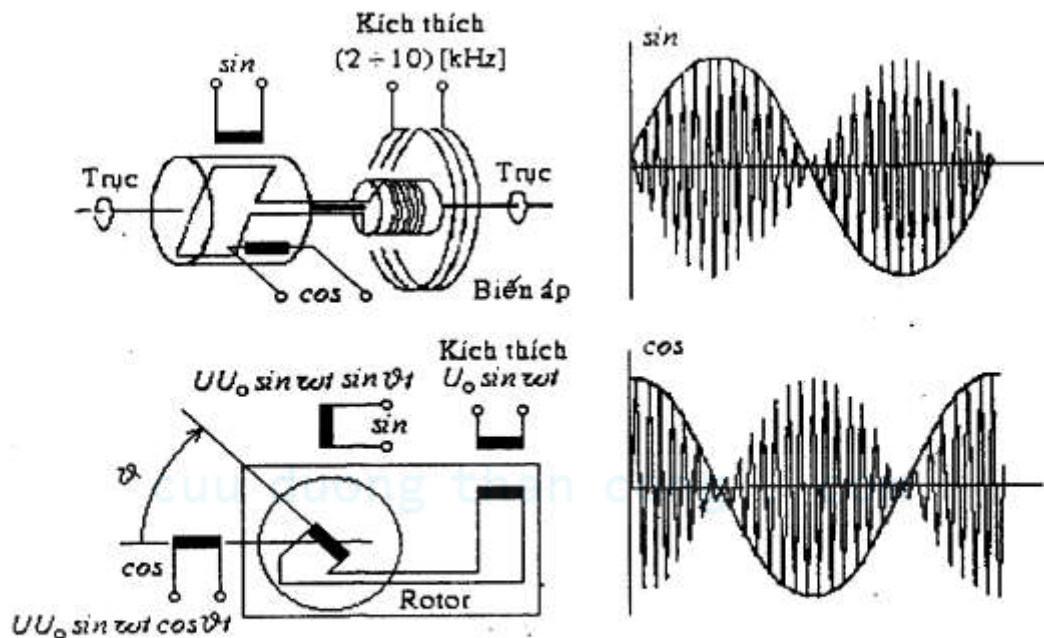
Hình 4.66 – Phương án kết hợp đếm xung tốc độ và xung thời gian tín hiệu dạng sin: a). Tín hiệu hai kênh; b). Sơ đồ nguyên lý mạch đo.

Chi tiết hơn về nguyên lý, cấu tạo của các dạng Encoder sẽ được nêu ở phần sau (Phụ lục 2).

Máy đo góc tuyệt đối (Resolver). Cấu tạo: phần động (kết nối với trục quay cần đo góc quay hay tốc độ) có cuộn sơ cấp được kích thích bằng sóng mang tần số khoảng $(2 - 10) [kHz]$ qua biến áp quay, phần tĩnh có hai cuộn thứ cấp (cuộn *sin* và cuộn *cos*) đặt lệch nhau 90° (hình 4.67).

Đầu ra là tín hiệu điều biên của hai cuộn thứ cấp, chứa thông tin về vị trí tuyệt đối của rotor máy đo, tương ứng vị trí tuyệt đối của rotor động cơ cần đo. Bằng cách lấy đạo hàm góc quay ta có tốc độ quay của động cơ. Độ phân giải của máy đo phụ thuộc khả năng phân giải của bộ chuyển đổi A/D mắc trong mạch đo.

Nhược điểm của các phương pháp đo trên là làm hệ truyền động không đồng nhất do phải tải thêm phần động của cảm biến (mà không phải trong trường hợp nào cũng có thể kết nối vào trục quay được). Để khắc phục, người ta ứng dụng phương pháp không có cảm biến.

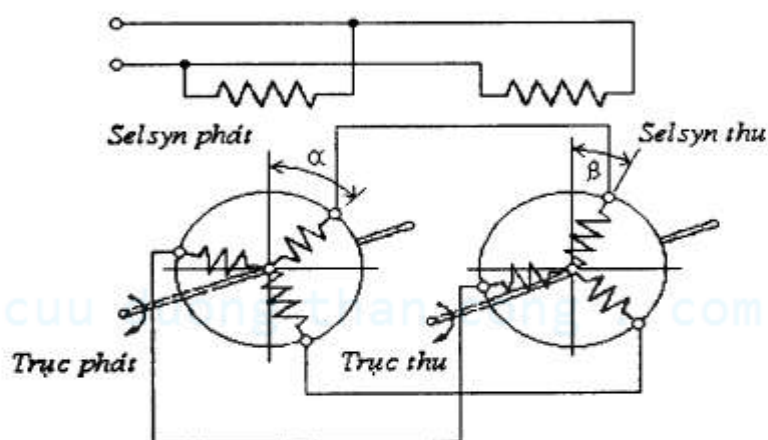


Hình 4.67 – Máy đo góc tuyệt đối resolver:

a). Nguyên lý cấu tạo; b). Nguyên lý hoạt động; c). Hai kênh tín hiệu ra.

Chi tiết hơn về nguyên lý, cấu tạo của máy đo Resolver sẽ được nêu ở phần sau (Phụ lục 2).

Selsyn. Là phần tử máy điện đo dịch chuyển góc. Máy đo phân ly đồng bộ, phối hợp hai máy điện giống nhau – máy phát *Transmitting Selsyn* và máy thu *Receiving Selsyn*. Mỗi máy là một máy điện ba pha, các cuộn dây được nối hình sao và hai máy được nối với nhau như hình 4.68. Selsyn được dùng đo dịch chuyển góc, tạo điện áp đầu ra có độ lớn tỷ lệ với góc lệch giữa vị trí trục đo kết nối với máy phát và vị trí đặt trước của phần động máy thu.



Hình 4.68 – Nguyên lý máy đo selsyn (chế độ chỉ báo).

Chi tiết hơn về nguyên lý, cấu tạo của selsyn sẽ được nêu ở phần sau (Phụ lục 2).

4.3.3 – Cảm biến đo gia tốc.

Gia tốc kế là các dụng cụ đo gia tốc, dùng trong nghiên cứu chuyển động và dao động của các bộ phận máy. Có loại đo gia tốc góc, gia tốc dài, gia tốc cực đại, gia tốc hàm thời gian và quãng đường, ...; hay theo nguyên lý cấu tạo có: gia tốc kế cơ học, gia tốc kế điện cơ, gia tốc kế quang, ...

Gia tốc kế rung. Khái niệm gia tốc ở đây hiểu là gia tốc chấn động, của dao động rung cơ học. Các cảm biến đo gia tốc cũng dựa

trên cơ sở dao động rung cơ học của vật thể theo một bậc tự do quanh vị trí chuẩn. Phương trình dao động của một hệ được biểu diễn dưới dạng biến đổi Laplace:

$$X(s) = \frac{-A(s)}{s^2 + 2\xi\omega_0 s + \omega_0^2} = \frac{A(s)}{G(s)}; \quad (4.41)$$

ở đây: $X(s)$ và $A(s)$ – biến đổi Laplace của $x(t)$ và d^2y/dt^2 ; ω_0 – tần số dao động tự nhiên của hệ; ξ – hệ số tắt dần của dao động.

Bằng cách biến đổi ngược Laplace phương trình trên, xác định được dao động chuyển dịch của vật:

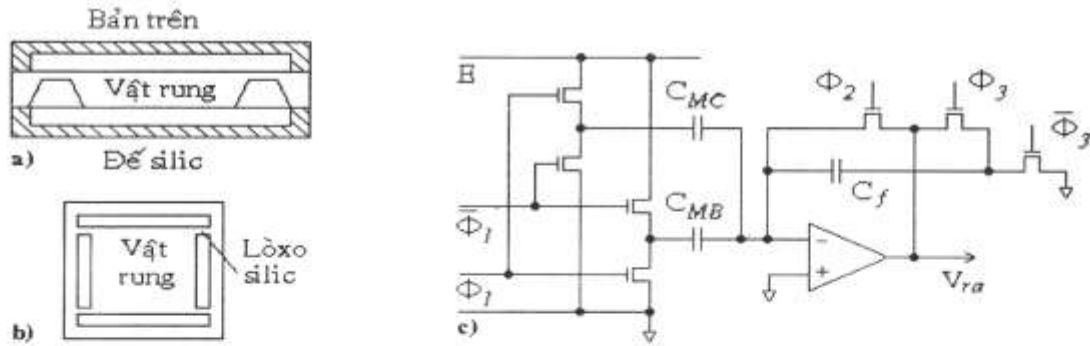
$$x(t) = L^{-1}[G(s), A(s)]. \quad (4.42)$$

Gia tốc kế rung có khả năng nhận dạng đúng tần số cộng hưởng. Tần số rung đầu ra đặc trưng đặc tính tần của cảm biến. Độ nhạy của gia tốc kế là tỷ số điện áp đầu ra với đại lượng dao động cơ học đầu vào, tính bằng volt trên đơn vị gia tốc (VD: [V/g]; $1 \text{ g} = 9,81 \text{ m/s}^2$), với tần số chuẩn (Châu Âu: 160 Hz; Mỹ: 100 Hz).

Gia tốc kế điện dung.

Cảm biến trong gia tốc kế điện dung là tụ điện có điện dung phụ thuộc gia tốc: hai bản cực tụ điện, một gắn với phần tĩnh của gia tốc kế, bản cực kia gắn với vật rung. Hình 4.69 giới thiệu nguyên lý của bộ cảm biến gia tốc kế điện dung vi sai và sơ đồ mạch biến đổi thực hiện trên vi mạch tích hợp silicon, trong đó C_{MC} là điện dung đo giữa vật rung và nắp vỏ, và C_{MB} là điện dung đo giữa vật rung và đế có lò xo silic, C_f – điện dung mạch phản hồi của khuếch đại thuật toán chuyển đổi điện dung sang điện áp đầu ra:

$$V_A = 2E \frac{C_{MC} - C_{MB}}{C_f}. \quad (4.43)$$

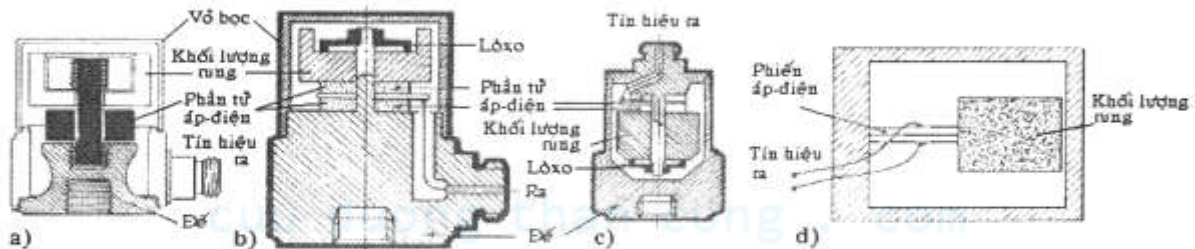


Hình 4.69 – Gia tốc kế điện dung với tụ điện vi sai:

- a). Mặt cắt cảm biến; b). Lò xo giữ vật rung;
- c). Sơ đồ vi mạch tích hợp biến đổi tín hiệu ra.

Tức là điện áp đầu ra phụ thuộc điện dung vi sai của cảm biến, tương ứng gia tốc chuyển vị dao động của vật thể cần đo. Gia tốc kế điện dung vi sai cho phép đo những dịch chuyển nhỏ (các gia tốc kế điện dung thường có thể đo được dịch chuyển cực đại là $20 [\mu m]$).

Gia tốc kế áp điện. Ứng dụng hiệu ứng áp-điện do Pierre và Jacques Curie phát hiện năm 1880. Trong cảm biến gia tốc áp điện, vật rung được đặt trên phần tử áp điện *piezo*, sinh ra điện tích khi chịu tác dụng của ứng suất tương ứng chuyển động của vật rung, do đó tỷ lệ với gia tốc của vật. Thông thường sử dụng hai biến dạng tinh thể *piezo*: kiểu nén và kiểu uốn (hình 4.70).



Hình 4.70 – Gia tốc kế áp điện: a)- b)- c). Kiểu nén; d). Kiểu uốn.

BÀI 7

KỸ THUẬT CẢM BIẾN LỰC.

Chương 5. – CẢM BIẾN ĐO LỰC VÀ TÁC DỤNG LỰC.

PHẦN 1.

Mục tiêu bài này tập trung vào những khái niệm cơ bản và kỹ thuật cảm biến lực (phần 1) và tác dụng lực: áp suất, ứng suất (phần 2); các ứng dụng trong kỹ thuật đo lường và điều khiển – gồm 2 phần của chương 5.

Nội dung cơ bản mà SV phải nắm được ở bài này là những vấn đề trọng tâm sau:

- Khái niệm đại cương về lực, tác dụng lực và những đặc điểm xác định chúng. Các loại phần tử cảm biến lực và áp suất ứng dụng trong kỹ thuật đo lường điều khiển, kết cấu, hoạt động chức năng, các đặc tính kỹ thuật, đặc điểm ứng dụng.
- Các vấn đề ứng dụng thực tiễn các phần tử cảm biến trong công nghiệp để có nhận thức và kỹ năng tổng hợp, thiết kế và chế tạo hệ thống cụ thể trong thực tế môi trường ứng dụng.
- Bài 7 tập trung trọng tâm là kỹ thuật cảm biến lực (phần 1) bằng các phần tử cảm biến ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp và dân dụng.

Thời lượng bài giảng là 04 tiết/45 tiết lên lớp theo chương trình môn học là 03TC (45 tiết) và 04 tiết tự nghiên cứu.

Khái niệm chung.

Đại cương về lực và tác dụng lực.

Lực là đại lượng vector, số đo tương tác giữa các vật. Tương tác này có thể thực hiện khi các vật tiếp xúc trực tiếp với nhau (lực nén,

lực kéo, lực đẩy, lực ma sát) hoặc thực hiện gián tiếp thông qua tác dụng trường vật lý mà các vật tạo ra (trường hấp dẫn, trường điện-từ,...). Là một vector, lực có độ lớn (*modul*), hướng tác dụng và điểm đặt.

Điều quan trọng ở đây là phải nhận thức được sự khác biệt giữa lực, trọng lực – trọng lượng, lực tải và tải trọng, vì các thuật ngữ này thường được hiểu và dùng tráo đổi một cách không rõ nghĩa.

Lực: Số đo của sự tương tác giữa các vật thể – (*Force*).

Trọng lực: Số đo trọng lượng của vật thể tác dụng lên bàn cân – (*Weight*)

Lực tải (tải trọng): Số đo lực tác dụng lên vật thể – (*Load*)

Trọng lực là lực tổng hợp của lực hấp dẫn do trái đất tác dụng lên vật và lực ly tâm mà vật phải chịu do chuyển động quay của trái đất. Trọng lực hướng theo phương thẳng đứng ở điểm quan sát. Bởi lực ly tâm mà vật phải chịu (do chuyển động quay của trái đất) là nhỏ so với lực hấp dẫn (lực ly tâm cực đại ở xích đạo, nhưng cũng chỉ bằng 1/288 trọng lực), nên có thể nói trọng lực là số đo lực hấp dẫn tác dụng lên vật.

Trọng lượng của một vật là lực mà vật tác dụng lên giá đỡ (hoặc hệ thống treo) do đó vật không bị rơi tự do mặc dù bị hút về phía tâm trái đất. Nếu vật và giá đỡ (bàn cân) đều bất động đối với trái đất thì trọng lượng vật (đo được bằng bàn cân) bằng trọng lực của nó. Trọng lượng riêng là trọng lượng của một đơn vị thể tích, tính bằng $[N/m^3]$.

Khối lượng là một đặc trưng vật lý quan trọng của vật chất, là số đo đồng thời của tính hấp dẫn và quán tính của vật chất. Là số đo tính hấp dẫn, khối lượng được xác định theo định luật vạn vật hấp dẫn của Newton :

$$F = \gamma \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2} ; [N] \quad (5.1)$$

trong đó: m_1, m_2 là khối lượng của hai vật tương tác; r là khoảng cách giữa hai vật đó; γ là hằng số hấp dẫn. Là số đo quán tính, khối lượng được xác định theo phương trình cơ bản của động lực học: $F = ma$; trong đó a là gia tốc mà vật thể nhận được dưới tác dụng lực F . Khối lượng riêng của vật chất có trị số bằng khối lượng của một đơn vị thể tích:

$$\rho = \frac{dm}{dV}. \quad (5.2)$$

Đơn vị khối lượng trong hệ SI là [kg].

Như vậy, trọng lượng của một vật thể là lực mà vật thể tác dụng lên bàn cân (hay cán cân); trọng lượng riêng là trọng lượng của một đơn vị thể tích của vật. Trong khi đó, khối lượng riêng cũng là khối lượng của một đơn vị thể tích – tuy nhiên, với cách chọn đơn vị thích hợp (kg lực / kg khối lượng) thì trị số của khối lượng riêng có thể bằng tỷ trọng của chất đó. Đó là bản chất quan hệ giữa khối lượng và trọng lượng của một vật thể.

Tải (hay tải trọng) là tác dụng lực lên một vật thể. Bởi lực là số đo tương tác giữa các vật thể, lực tải (hay tải trọng) chính là tác dụng lực mà một vật phải chịu từ một hoặc các vật thể khác trong tổng thể các lực tác dụng lên nó (như trọng lực, trọng lượng và các lực tương tác khác). Trong thực tế ứng dụng, các phép đo lực nói chung là đo lực tải, phần nào bỏ qua tác động ngược của vật chịu tác động lên vật tác động (tính tương tác lực).

Các phương pháp đo lực. Có thể đo lực theo các phương pháp:

- Phương pháp tĩnh: Dựa vào sự cân bằng lực cần đo với một lực đối kháng, sao cho tổng các lực và tổng moment của chúng bằng 0; hoặc cân bằng lực cần đo với một lực khác (như lực trọng trường, lực điện-từ) có thể đo được.
- Phương pháp động: Dựa vào phương trình cơ bản của động-lực-học chất điểm (định luật hai Newton):

$$\vec{F} = m\vec{a} , [N]; \quad (5.3)$$

trong đó: m – khối lượng của vật chịu tác dụng lực, tính bằng [kg]; a – gia tốc chuyển động của vật dưới tác động lực, [m/s^2]). Theo nguyên lý phương pháp này, người ta đo gia tốc \vec{a} của vật (có khối lượng m đã biết) để xác định lực tác dụng F ; hoặc biến đổi lực tác dụng F thành áp suất P của chất lỏng, chất khí hay ứng suất p biến dạng của chất rắn và đo các đại lượng này.

Lực-kế là dụng cụ đo cường độ của lực. Có nhiều loại lực-kế cấu tạo khác nhau, phổ biến nhất là lực-kế dựa trên sự biến dạng đàn hồi của vật rắn. Lực-kế có các bộ phận chính:

- bộ phận chịu lực, thường là một chi tiết đàn hồi, là phần tử biến dạng đàn hồi;
- bộ phận truyền động, thường là một hệ đòn bẩy hoặc bánh xe răng cưa để khuếch đại độ dịch chuyển, và:
- bộ phận đọc hoặc ghi trị số cường độ lực, cũng có thể là giao diện cho các bộ phận xử lý tiếp theo.

Lực-kế được dùng để đo sức kéo của động cơ, đo lực tác dụng lên các bộ phận máy móc, để thử sức bền của vật liệu vv... Trong nhiều công nghệ cảm biến lực khác, ngày nay các cảm biến thông dụng nhất trong kỹ thuật đo lường và điều khiển ứng dụng hoặc nguyên lý dây đo biến dạng *strain gauge*, hoặc dựa trên cơ sở tinh thể áp-điện thạch anh *piezoelectric quartz crystal*.

Trong hệ đơn vị quốc tế SI, lực tính bằng đơn vị Newton [N]. Có những đơn vị ngoài hệ như 1 [dyn] = 10^{-5} [N] hay 1 [kg lực] = 9,80665 [N]. Trong các máy đo lực (và áp suất) được chế xuất từ Mỹ và nhiều nước Châu Âu vẫn dùng các đơn vị không theo thông ước quốc tế (hệ SI), nhưng có thể dễ dàng quy đổi như: 1[kg]=2,205pounds[lb]; pound ký hiệu là 1[lb] =0,45359237[kg]; ounce 1[oz]=0,0283495[kg]; pound lực (*force*) ký hiệu là 1[lbf]=4,44822[N]; vv...

Đại cương về tác dụng lực ứng suất và áp suất.

Ứng suất (cơ học) là số đo nội lực xuất hiện trong vật biến dạng dưới ảnh hưởng của các tác dụng lực từ bên ngoài. Tương tác giữa các phần vật tiếp xúc với nhau theo tiết diện đi qua điểm ứng suất, được thay bằng các lực tác dụng đó. Khái niệm ứng suất này (cơ học) khác với ứng suất nhiệt, xuất hiện trong một vật bởi sự phân bố nhiệt không đều trong những phần khác nhau của vật và bởi khả năng co giãn vì nhiệt bị cản trở do bị những phần lân cận bên trong hay những vật kề cạnh bên ngoài chèn ép. Trong hầu hết các cảm biến lực và áp suất, thì ứng suất nhiệt là nguyên nhân chủ yếu gây sai số cảm biến.

Trong khi đó, áp suất là đại lượng vật lý đặc trưng cho cường độ của lực bên ngoài đặt thẳng góc lên bề mặt của một vật. Nếu lực F phân bố đều trên diện tích A của bề mặt S thì áp suất là $p = F/A$. Đối với môi trường chất lỏng và tĩnh thì áp suất tại mỗi điểm là như nhau theo mọi phương. Đối với môi trường chất khí, áp suất là do các phân tử khí chuyển động hỗn độn truyền xung lượng cho bề mặt vật tiếp xúc với chất khí. Các chất lỏng và chất khí được gọi chung là lưu chất. Trong thực tế, thường nói đến áp suất của lưu chất, hiếm khi nói đến áp suất chất rắn.

Như vậy, có thể coi áp suất và ứng suất là hai mặt của tác dụng lực. Áp suất gây nên bởi tác dụng lực từ ngoài, còn ứng suất là tác dụng nội lực bên trong vật, gây nên bởi những tác dụng từ ngoài.

Đơn vị đo áp suất có thứ nguyên lực chia cho diện tích, trong hệ SI là $[N/m^2]$. Ngoài ra còn có các đơn vị ngoài hệ SI như atmosphere vật lý (tương đương atmosphere tiêu chuẩn, ký hiệu $[atm]$), atmosphere kỹ thuật $[at]$, millimet cột nước $[mm \text{ cột nước}]$, millimet thủy ngân (hay ký hiệu $[tor]$), $[bar]$. Trong một số tài liệu, và nhất là các chế phẩm từ Mỹ và Châu Âu, vẫn dùng các đơn vị đo lường không theo thông ước SI, như pound trên inch vuông (square) $[psi]$ để đo áp suất, (cũng vậy, người ta ký hiệu đơn vị đo áp suất vi sai (differential-) là $[psid]$, áp suất tuyệt đối (absolute-) là $[psia]$). Hiển nhiên những đơn vị đo này có thể

được chuyển đổi sang hệ SI hay những đơn vị đo thông dụng khác như $1[\text{mmHg}] = 1[\text{tor}] = 133,322[\text{N}/\text{m}^2]$, Pascal $1[\text{Pa}] = 1[\text{N}/\text{m}^2]$; $[\text{bar}]$ hay millibar $1[\text{mbar}] = 100[\text{N}/\text{m}^2]$, vv...

Đo áp suất. Dụng cụ để đo áp suất là áp-kế. Người ta phân biệt áp-kế để đo áp suất tuyệt đối (tính từ số không) và áp-kế để đo áp suất dư (tức là hiệu giữa áp suất tuyệt đối và áp suất khí quyển) khi áp suất tuyệt đối lớn hơn áp suất khí quyển. Áp-kế vi sai đo hiệu hai áp suất. Để đo áp suất khí quyển, người ta dùng khí-áp-kế, để đo áp suất gần số không người ta dùng áp-kế-chân-không. Tùy theo nguyên lý hoạt động, người ta chia ra: áp-kế chất lỏng, áp-kế piston, áp-kế biến dạng (kiểu ống, kiểu màng, kiểu hộp xếp). Áp-kế có thể chia độ theo các đơn vị khác nhau: $[\text{kg}/\text{l}/\text{m}^2]$, $[\text{kg}/\text{l}/\text{cm}^2]$, $[\text{bar}]$, millimet cột nước, millimet thủy ngân, hay theo hệ đơn vị quốc tế SI là $[\text{N}/\text{m}^2]$.

Có thể dùng bất cứ phương pháp nào để đo áp suất dựa trên sự thay đổi các đặc tính vật lý của các chất khi thay đổi áp suất, do đó các phương tiện đo áp suất là rất đa dạng. Tuy nhiên, trong các máy đo áp suất người ta chủ yếu sử dụng các phần tử cảm biến lực. Ở đây, nguyên lý phương pháp là đo lực tác dụng lên một diện tích giới hạn – như giá trị áp suất trung bình \bar{P} :

$$\bar{P} = \frac{F}{A}. \quad (5.4)$$

Tỷ số của lực tác dụng F trên diện tích A được biểu diễn như là áp suất p :

$$p = \frac{\Delta F}{\Delta A}. \quad (5.5)$$

Và bởi vì trên mặt đất luôn chịu một áp suất khí quyển nhất định, nên trong khái niệm áp suất phân biệt áp suất tuyệt đối và áp suất dư liên quan với áp suất khí quyển.

Phần lớn các phần tử cảm biến áp suất có nguyên lý hoạt động dựa trên cơ sở:

- áp suất tác dụng lên bề mặt diện tích, đo lực cân bằng áp suất đó; hoặc:
- áp suất tác dụng lên một phần tử cấu trúc nhạy với áp lực (ví như biến trở R thay đổi điện trở theo áp suất, hay phần tử tạo ra điện áp có độ lớn phụ thuộc áp suất).

5.1 – CẢM BIẾN ĐO LỰC.

Phân loại.

- Phần tử biến trở biến dạng đàn hồi:
 - Kim loại (dây trở, màng trở, màng rung biến dung, ...);
 - Bán dẫn (điện trở biến dạng silicon, màng điện dẫn chất dẻo, ...).
- Các phần tử cảm biến vật lý khác: cảm biến điện dung, điện cảm, cảm biến áp-điện piezoelectric, cảm biến từ-giảo, ...

Các phần tử biến trở kiểu dây đo biến dạng đàn hồi được ứng dụng ở những chỗ có thể có biến dạng từ cỡ vừa tới lớn (0,001% - 1%), ở những nơi cần đến những thiết bị rẻ tiền, những dụng cụ có kích cỡ nhỏ như silicon tế vi, và ở nơi tín hiệu ra có thể biến thiên ở tần số từ 0 (điện một chiều) tới vài kHz. Giới hạn tần số xuất hiện ở đây là bởi vì kết cấu các dụng cụ này nói chung có điện dung tản lớn, có xu hướng lọc bỏ những tín hiệu biến thiên nhanh.

Các phần tử cảm biến vật lý dựa trên những hiệu ứng vật lý, ví như điện trở áp-điện là một linh kiện thay đổi điện trở khi bị biến dạng. Trong hầu hết các vật liệu điện trở, hiệu ứng trở kháng áp-điện biểu hiện dưới hai dạng thành phần – thành phần hình dạng học *geometric* và thành phần điện trở *resistive*. Thành phần hình dạng hình học của phần tử trở kháng áp-điện xuất phát từ hiện tượng là phần tử biến dạng chịu sự thay đổi về kích thước. Những thay đổi này làm ảnh hưởng đến điện trở của cảm biến trong tiết diện mặt cắt và theo chiều dài.

5.1.1 Phần tử biến dạng đàn hồi kiểu biến trở.

Các phần tử biến dạng đàn hồi phổ biến nhất dùng trong các phép đo lực là:

- Dây đo biến dạng điện trở;
- Dây đo biến dạng bán dẫn, và:
- Biến cảm áp-điện *piezoelectric transducers*.

Dây đo biến dạng đo lực một cách gián tiếp bằng cách đo độ uốn cong mà lực tác dụng tạo ra trong một vật mang *carrier* đã được hiệu chuẩn. Có thể dùng kỹ thuật dây đo biến dạng để đo áp suất, rồi chuyển đổi áp suất thành lực, sử dụng một bộ biến cảm xấp xỉ hoá *appropriate transducer*. Có thể đo lưu lượng dòng chảy bằng cách dùng các phép đo áp suất vi sai ứng dụng công nghệ dây đo biến dạng.

Bảng 5.1 – Các phép đo dựa trên dây đo biến dạng.

Biến dạng	Dây đo biến dạng; Biến cảm áp-điện.
Lực	Tế bào tải trọng.
Áp suất	Màng ngăn lực cho dây đo biến dạng.
Lưu lượng	Đo áp suất vi sai.

Dây đo biến dạng điện trở là một phần tử biến dạng điện trở kim loại, khi có lực tác dụng lên đế mà nó được lắp trên đó làm nó thay đổi độ dài, bị kéo dãn ra hay nén lại, do đó làm thay đổi điện trở. Đó có lẽ là một biến cảm quen thuộc nhất biến đổi lực thành tín hiệu điện.

Nguyên lý chung. Phương pháp phổ biến nhất để xác định lực là tạo một lực cơ học cân bằng với nó. Khi có lực F tác dụng, làm vật thể biến dạng chuyển dịch, vật thể đàn hồi bị nén lại (hình 5.1a) hay giãn ra.

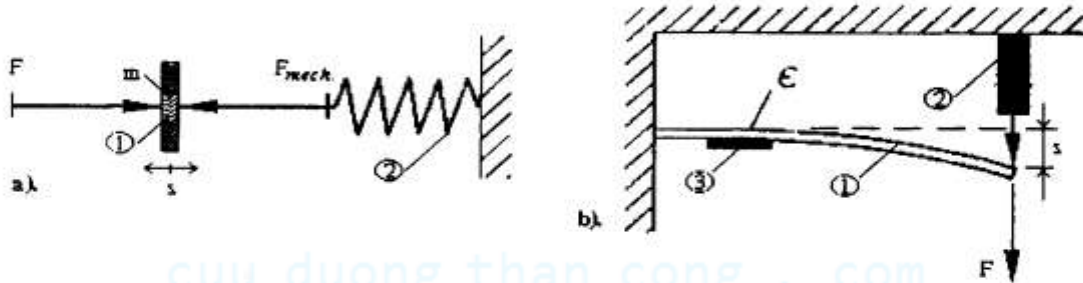
Để vật thể nằm yên ở trạng thái nén này, lực tác dụng F phải cân bằng với lực đàn hồi cơ học của vật biến dạng F_{mech} :

$$F = F_{mech} \quad (5.6)$$

Nếu đặc tuyến của vật thể đàn hồi là tuyến tính, tức là lực tác dụng và độ biến dạng của vật tỷ lệ với nhau, thì ta có:

$$F_{mech} = C.s \quad (5.7)$$

ở đây: C – hệ số đàn hồi của vật biến dạng; s – độ dịch chuyển vật thể.



Hình 5.1 – a). Đo lực F bằng lực cân bằng của vật thể biến dạng đàn hồi F_{mech} . b). Nguyên lý phần tử biến dạng đàn hồi.

Hình 5.1b giới thiệu nguyên lý của một phần tử biến dạng đàn hồi. Lực F làm uốn cong vật thể đàn hồi. Độ cong s của vật có thể xác định bằng một phần tử cảm biến chuyển dịch, ví như phần tử biến trở chiết áp *potentiometer* (nhiều tài liệu gọi tắt phần tử có con trượt này là “pot”) hoặc phần tử biến cảm *inductive* (xem chương 4). Có phương pháp khác là đo độ giãn dài ở bề mặt trên hay độ ép nén ở mặt dưới bởi sự uốn cong của phần tử. Độ co giãn lại là tính năng của phần tử cảm biến đàn hồi này và qua đó mà thể hiện số đo của lực tác dụng F . Phép đo độ co giãn được thực hiện bằng cách sử dụng phần tử dây trở, có khả năng thay đổi điện trở do biến dạng co giãn. Theo nguyên lý đó người ta chế xuất các phần tử cảm biến dạng dây đo biến dạng *strain gage* hay màng biến trở co giãn *foil-gage*.

Bảng 5.2 cho các thông số kỹ thuật chủ yếu của các kiểu phần tử cảm biến biến dạng đàn hồi *strain gauge* dưới dạng dây trở, màng trở hay bán dẫn silicon.

Bảng 5.2 – Đặc tính các phần tử cảm biến biến dạng đàn hồi.

Đặc tính kỹ thuật	Ký hiệu. Đơn vị	Kiểu phần tử biến dạng đàn hồi		
		Dây trở	Màng trở	Bán dẫn
Trị số điện trở danh định.	R_0 , [Ω]	120; 600	120; 300; 350; 600	120; 600
Dung sai điện trở.	$\pm \Delta R/R_0$, [%]	0,25 ... 0,5	0,2	0,5
Chiều dài tích cực.	l , [mm]	3 ... 6 ... 150	0,6 ... 6 ... 30	1 ... 5
Độ nhạy biến dạng.	K	2	2	100 ... 160
Dung sai độ nhạy.	$\pm F.S.$, [%]	0,5	1	2
Tần số giới hạn.	f_M , [kHz]	0 ... 100	0 ... 100	-
Dòng điện cho phép.	I_M , [mA]	10 ... 40	20 ... 40	10 ... 20
Điện áp cung cấp cho mạch cầu max.	U_B , [V]	2 ... 60	2 ... 20	1 ... 2
Độ biến dạng tối đa.	ϵ_{max} , $10^{-3} [m/m]$	5 ... 50	50 ... 80	3 ... 5
Phạm vi biến dạng tuyến tính với sai số tuyến tính $\pm 0,1\%$.	$\pm \epsilon_M$, [$\mu m/m$]	4000 ... 10000	4000 ... 10000	1000
Phạm vi bù nhiệt độ.	T_K , [$^{\circ}C$]	-10 ... +150	-10 ... +130	-
Hệ số nhiệt độ (khi có bù nhiệt).	$\pm \alpha_K$, [$(\mu m/m)/^{\circ}K$]	1	1	-
Độ sai biến trong thời gian một giờ khi $\epsilon = 1000 [\mu m/m]$.	$\Delta \epsilon/\epsilon$	$1 \dots 10 \cdot 10^{-3}$	$1 \dots 10 \cdot 10^{-3}$	$1 \dots 10 \cdot 10^{-3}$

Phần tử cảm biến biến dạng đàn hồi biến trở kim loại.

Nguyên lý dây đo biến dạng *Strain Gage*.

Biến trở dẫn nở là một dạng dây trở, có thể co hay giãn, nhưng trong phạm vi đàn hồi, để dạng nguyên thủy của nó không thay đổi. Để xác định độ co giãn của một vật thể, người ta dán dây đo lên vật.

Khi co lại hay dãn ra, vật thể truyền sự biến dạng đó cho dây đo. Biến dạng cơ học dẫn tới sự thay đổi điện trở của dây đo bởi xuất hiện ứng suất cơ học bên trong dây. Sự thay đổi điện trở này được đo bằng phép đo tương ứng – đo điện trở (mà do những yêu cầu đặc biệt của phép đo dùng dây đo biến dạng, sẽ dành một chuyên mục riêng phần sau nêu cụ thể hơn về mạch cầu đo điện trở điển hình, như một mạch chức năng chuẩn hoá tín hiệu).

Đối với dây trở kim loại đàn hồi, độ nhạy biến dạng có thể tính như sau:

$$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{\rho L}{\pi r^2} = \frac{4\rho L}{\pi D^2}; \quad (5.8)$$

$$dR = \frac{4L}{\pi D^2} \cdot d\rho + \frac{\rho}{\pi D^2} dL - \frac{8\rho L}{\pi D^3} dD; \quad (5.9)$$

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dL}{L} - 2 \cdot \frac{dD}{D}. \quad (5.10)$$

ở đây: R – điện trở dây đo biến dạng theo chiều dài dây (ở 20°C); ρ – điện trở suất của dây đo (một hằng số phụ thuộc vào vật liệu); L – chiều dài dây đo; A – tiết diện dây; D – đường kính dây đo.

Đối với dây đo biến dạng ta quan tâm hệ số dây đo *gage factor* K – sự thay đổi điện trở tỷ đối của dây đo ứng với sự thay đổi tỷ đối chiều dài dây đo (sự biến dạng dây đo):

$$K = \frac{dR/R}{dL/L} = \frac{d\rho/\rho}{dL/L} + 1 - 2 \cdot \frac{dD/D}{dL/L}. \quad (5.11)$$

Số hạng cuối trong biểu thức (5.9) được gọi là tỷ số Poisson ν :

$$\nu = \left(-\frac{dD/D}{dL/L} \right); \quad (5.12)$$

khi đó ta có:

$$K = 1 + 2\nu + \frac{d\rho/\rho}{dL/L}. \quad (5.13)$$

Đối với những kim loại khác nhau, đại lượng này phụ thuộc vào tính chất vật liệu, và vào đặc tính điện dẫn. Nói chung, kim loại có giá trị hệ số dây đo giữa 2 và 4.

Từ biểu thức (5.5), độ biến dạng của vật tỷ lệ với lực tác dụng, ta cụ thể hơn đối với trường hợp dây đo biến dạng đàn hồi. Bởi ứng suất σ bên trong dây đo bằng lực F tác dụng lên bề mặt diện tích A của dây đo; gây nên sự thay đổi điện trở dây đo, sự thay đổi điện trở tỷ đối này dR/R bằng hệ số dây đo K nhân với sự thay đổi độ dài tỷ đối dL/L (tức là sự biến dạng, ở đây để đơn giản ta chỉ tính biến dạng theo chiều dài – sự giãn dài dây đo); mà ứng suất σ bằng modul đàn hồi Young E nhân với độ biến dạng, ta có:

$$F = \sigma \cdot A = E \cdot A \cdot \frac{dL}{L} = \frac{E \cdot A}{K} \cdot \frac{dR}{R}; \quad (5.14)$$

hay là:

$$\frac{dR}{R} = \frac{F \cdot K}{E \cdot A}. \quad (5.15)$$

Như vậy, sự thay đổi điện trở tỷ đối của dây đo biến dạng tỷ lệ với lực tác dụng và tỷ lệ với hệ số dây đo chia cho modul đàn hồi Young của vật liệu. Rõ ràng là cần có sự thay đổi lớn về điện trở để đơn giản hoá việc thiết kế các phần còn lại của dụng cụ cảm biến, nên nói chung ta cố gắng chọn những dây đo đường kính nhỏ, có modul đàn hồi Young nhỏ, và hệ số dây đo càng lớn càng tốt. Tính đàn hồi của đa số các vật liệu thường hạn chế dưới 1%, cho nên ta thường nói về những thay đổi điện trở trong phạm vi 1% - 0,001%. Rõ ràng đo những điện trở như vậy không phải là dễ, và thường phải kiểm các cầu đo trở được thiết kế để tạo ra điện áp đủ cung cấp cho các mạch khuếch đại và xử lý tiếp theo (xem mục 5.1.1.4).

Trong thực tế, biểu thức (5.13) cho tỷ số biến trở $\Delta R/R_0$ được xác định theo biểu thức:

$$\frac{\Delta R}{R_0} = K \cdot \varepsilon ; \quad (5.16)$$

ở đây: ΔR – độ lớn thay đổi điện trở do biến dạng; R_0 – trị số điện trở danh định (trước khi bị biến dạng); K – hằng số tỷ lệ, ở đây chính là hệ số dây đo *gauge factor* (một hằng số do nhà sản xuất cung cấp, là tỷ số $(\Delta R/R)/(\Delta L/L)$); ε – số đo dãn nở, ở đây là độ giãn dài của đối tượng trên đơn vị chiều dài ($\Delta L/L$), gọi là độ biến dạng *strain*.

Hằng số tỷ lệ K là hằng số vật liệu dẫn điện của dây trở. Trị số K đối với các vật liệu điện trở kim loại nằm trong khoảng từ 2 đến 4.

Điện trở danh định R_0 của phần tử biến trở đàn hồi là trị số điện trở giữa hai đầu ra của phần tử, thường chọn trong dãy số: (120; 350; 600; 700) [Ω].

Đối với những phần tử dây trở dãn dài, thay vì giá trị ε có thể dùng tỷ số độ dài $\Delta L/L_0$ (xem biểu thức (5.9)-):

$$\frac{\Delta R}{R_0} = K \cdot \frac{\Delta L}{L_0} ; \quad (5.17)$$

ở đây: ΔL – độ co dãn chiều dài của dây trở; L_0 – chiều dài của dây đo trước khi biến dạng. Nói chung, hệ số K chịu ảnh hưởng của biến động chiều dài, tiết diện và điện trở suất của dây trở.

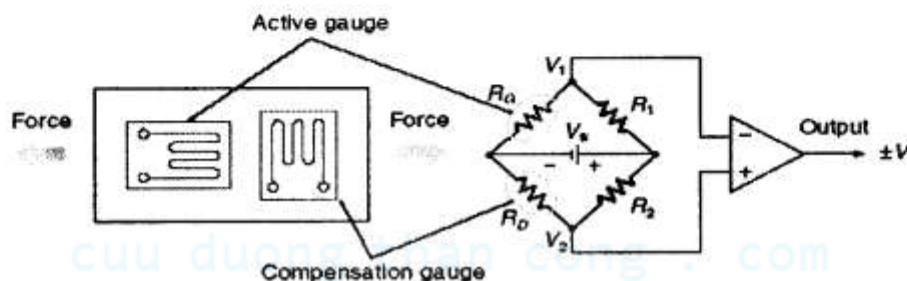
Tác dụng lực đầu vào được chuyển đổi thành điện áp bằng sự thay đổi điện trở của các dây đo biến dạng có liên quan mật thiết với kết cấu biến cảm *transducer*.

Sự thay đổi điện trở dây đo chỉ thị độ lớn biến dạng trong kết cấu biến cảm và do đó cũng chỉ thị độ lớn của tải trọng tác dụng.

Cơ sở công nghệ chế tạo dây đo biến dạng.

Dây đo biến dạng kiểu dây trở có thể dùng để đo lực trong một phạm vi rộng, từ 10 [*lb*] tới nhiều tấn. Nó gồm một sợi dây mảnh (0,001 [*in.*]) được quấn vòng tới và lui vài lần rồi được gắn chặt vào

một bản nền dạng tấm mỏng (hình 5.2a). Ngày nay có nhiều phương án dùng công nghệ mạch in để tạo ra những mẫu dây trở. Toàn bộ dây đo biến dạng được ghép chặt một cách tin cậy vào một đối tượng kết cấu nào đó và sẽ phát hiện được bất kỳ biến dạng kết cấu nào có thể xảy ra. Dây đo được định hướng sao cho các sợi dây nằm cùng hướng với hướng biến dạng chờ đợi. Nguyên lý hoạt động như sau: nếu đối tượng bị đặt dưới lực căng, dây đo sẽ giãn ra và bị biến dạng dài. Sợi dây không chỉ hơi dài ra mà còn mảnh hơn. Cả hai tác động đó gây nên việc tăng điện trở toàn phần của dây, như có thể thấy từ đẳng thức cơ bản của điện trở (xem biểu thức 5.8).



Hình 5.2 – Dây đo biến dạng.

Sự thay đổi điện trở của dây đo biến dạng có thể dùng để tính toán độ giãn dài của dây đo biến dạng (và của đối tượng mà nó được gắn chặt vào). Nếu anh biết được độ giãn dài và hằng số đàn hồi của thành phần gá đỡ, thì những nguyên tắc của định luật Hook có thể được dùng để tính toán lực tác dụng.

Sự thay đổi điện trở trong dây đo biến dạng là nhỏ. Một cách điển hình, nó chỉ khoảng vài phần trăm, tức là có thể nhỏ hơn một ohm. Đo lường một giá trị điện trở nhỏ như vậy thường đòi hỏi phải có một mạch cầu đo (hình 5.2b). Với mạch cầu này, sự thay đổi nhỏ trong một điện trở có thể gây nên một sự thay đổi tỷ lệ phần trăm tương đối lớn hơn trong điện áp đường chéo cầu. Ban đầu, cầu được cân bằng (hoặc được “quy 0”) bằng cách điều chỉnh các điện trở sao cho $V_1 = V_2$. Sau đó, khi điện trở dây đo thay đổi, hiệu điện thế ($V_1 - V_2$) sẽ

thay đổi. Cầu đo cũng cho phép ta khử những biến động do nhiệt độ, bằng cách nối một dây bù (gọi là *dummy*) thế vào chỗ một trong những điện trở mạch cầu. Như trong hình 5.2 và 5.3, thực tế dây bù được mắc gần kề dây đo chính sao cho chúng tiếp nhận cùng nhiệt độ, nhưng nó được định hướng vuông góc với dây đo chính nên lực tác dụng sẽ không làm các sợi dây trở của nó bị biến dạng dài.

Bằng cách phân tích mạch cầu trong hình 5.2, thoạt tiên ta tính riêng các điện áp V_1 và V_2 , dùng định lý phân áp:

$$V_1 = \frac{V_s \cdot R_G}{R_1 + R_G}; \quad (5.18)$$

$$V_2 = \frac{V_s \cdot R_D}{R_2 + R_D}. \quad (5.19)$$

Điện áp đường chéo cầu có thể biểu diễn bằng ($V_1 - V_2$):

$$(V_1 - V_2) = \Delta V = V_s \left(\frac{R_G}{R_1 + R_G} - \frac{R_D}{R_2 + R_D} \right). \quad (5.20)$$

Bằng cách sử dụng đại số toán học, ta có thể chuyển đổi biểu thức (5.20) thành dạng:

$$\Delta V = V_s \cdot \frac{(R_G \cdot R_2 - R_D \cdot R_1)}{(R_1 + R_G)(R_2 + R_D)}. \quad (5.21)$$

Ta có thể đơn giản hoá việc phân tích mạch bằng cách đặc trưng rằng tất cả các điện trở trong mạch cầu (bao gồm cả R_G và R_D) đều có cùng trị số (R) khi cầu cân bằng. Khi đó, nếu dây đo bị giãn dài, R_G sẽ tăng lên một ít, thành $(R + \Delta R)$, ở đây ΔR là số ohm mà R_G tăng lên bởi giãn dài. Sử dụng những điều kiện đó, biểu thức (5.21) được giản ước thành:

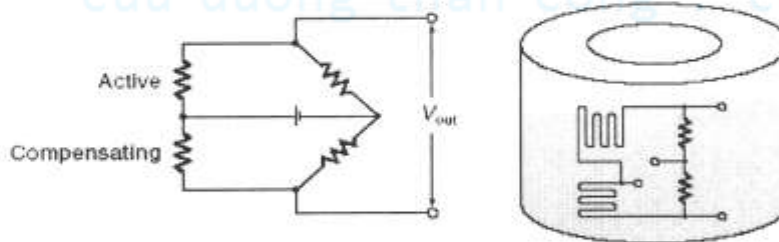
$$\Delta V = V_s \cdot \frac{\Delta R}{4R + 2\Delta R}; \text{ với mọi điện trở bằng } R \text{ khi cầu cân bằng.} \quad (5.22)$$

Nhìn mẫu số trong biểu thức (5.22), ta thấy có tổng của $4R$ và $2\Delta R$, nhưng trong mọi cảnh huống thực tế $4R$ sẽ lớn, lớn hơn nhiều so với $2\Delta R$, nên ta có thể nói rằng $(4R+2\Delta R)\approx 4R$. Với giả thiết đó và một vài biến đổi toán học ta tới biểu thức (5.23) mà ta có thể dùng để tính toán sự thay đổi trong điện trở dây đo biến dạng trên cơ sở của sự thay đổi điện áp đường chéo cầu đo được.

$$\Delta R \approx \frac{4R \cdot \Delta V}{V_S}; \quad (5.23)$$

ở đây: ΔR – sự thay đổi trong điện trở dây đo biến dạng; R – trị số định mức của mọi điện trở trong mạch cầu; ΔV – Điện áp đường chéo cầu nhận được; V_S - điện áp nguồn cung cấp cho cầu.

Bởi dây đo biến dạng bị giãn ra, điện trở của nó tăng lên. Tương quan chính xác giữa độ giãn dài và điện trở có thể tính toán bằng cách dùng biểu thức (5.16) và dựa trên hệ số dây đo K (*gauge factor*), do nhà sản xuất dây đo biến dạng cung cấp (xem biểu thức (5.16)).



Hình 5.3 – Các cấu trúc dây đo biến dạng.

Cần có một biểu thức nữa trước khi ta có thể giải quyết vấn đề dây đo biến dạng – một đẳng thức quan hệ ứng suất *stress* và sự biến dạng *strain* trong một đối tượng. Ứng suất là lực trên diện tích mặt cắt ngang; ví dụ, nếu một chân bàn có diện tích mặt cắt là $2 [in.^2]$ và đỡ một tải trọng là $100 [lb]$, khi đó ứng suất là $50 [lb/in.^2]$. Sự biến dạng là lượng chiều dài (trên đơn vị chiều dài) mà đối tượng bị giãn ra như kết quả của ứng suất tác động tới nó; ví dụ, một đối tượng có chiều dài $10 [in.]$ giãn ra $1 [in.]$, khi đó mỗi inche của đối tượng đã giãn ra $0,1$

[in.] và như vậy sự biến dạng sẽ là 0,1 [in./in.]. Ứng suất và biến dạng tương quan với nhau bằng một hằng số được gọi là modul Young (còn gọi là modul đàn hồi), như trong biểu thức (5.24). Modul Young (E) là số đo một vật liệu cứng đến bao nhiêu và có thể coi như một dạng hằng số lò xo đàn hồi *spring constant*.

$$E = \frac{\rho}{\varepsilon}; \quad (5.24)$$

ở đây: E – modul Young (một hằng số đối với mỗi loại vật liệu);
 ρ - ứng suất (lực trên tiết diện); ε - độ biến dạng (độ co giãn trên đơn vị độ dài).

Bảng 5.3 cung cấp một vài giá trị của E đối với các vật liệu thông dụng.

Bảng 5.3 – Modul Young (E) của các vật liệu thông dụng.

Vật liệu	$\times 10^6$ [lb/in ² .]	$\times 10^6$ [N/cm ²]
Thép	30	20,7
Đồng	15	10,7
Nhôm	10	6,9
Đá sỏi	7,3	5,0
Gỗ cứng	1,5	1,0

Ví dụ 5.1.1

Một dây đo biến dạng và mạch cầu được dùng đo lực căng trong một thanh dầm thép (hình 5.4). Thanh dầm có tiết diện ngang là 2[in²]. Dây đo biến dạng có điện trở định mức là 120[Ω] và hằng số K bằng 2. Mạch cầu được cung cấp điện áp 10[V]. Khi thanh dầm không chịu tải, cầu được cân bằng nên điện áp ra bằng 0[V]. Khi đó lực được cung cấp lên thanh dầm, và điện áp cầu đạt tới 0,0005[V]. Xác định lực tác dụng lên thanh dầm.

Giải.

Đầu tiên, dùng biểu thức (5.21) để tính sự thay đổi điện trở của dây đo biến dạng bởi lực tác dụng:

$$\Delta R \approx \frac{4R \cdot \Delta V}{V_s} = \frac{4 \cdot 120[\Omega] \cdot 0,0005[V]}{10[V]} = 0,024[\Omega] .$$

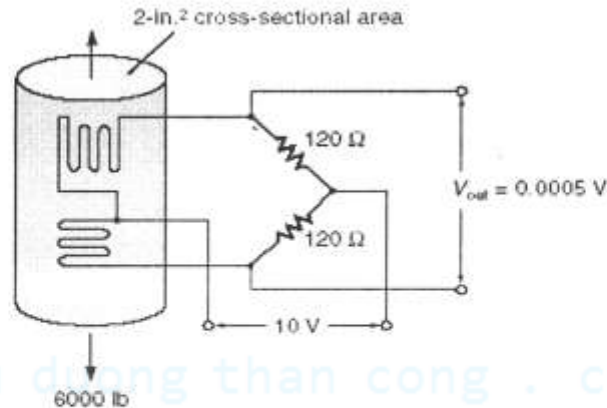
Tiếp theo, dùng biểu thức (5.14) để tính độ giãn dài (biến dạng) của dây đo (nó bị giãn dài ra bao nhiêu):

$$\varepsilon = \frac{\Delta R/R}{K} = \frac{0,024/120}{2} = 0,0001[in./in.] .$$

Cuối cùng, dùng biểu thức (5.22) để tính lực tác dụng lên thanh dầm. Việc này đòi hỏi phải tra bảng trị số modul Young. Từ bảng 5.3 ta tìm được nó là $30.000.000 [lb/in^2]$ đối với vật liệu thép. Thế nó vào biểu thức (5.22) ta có:

$$\rho = E \cdot \varepsilon = 30 \cdot 10^6 [lb/in^2] \cdot 0,0001[in./in.] = 3000 [lb/in^2] .$$

Kết quả này cho ta thấy rằng lực kéo căng trên thanh dầm là $3000 [lb/in^2]$, và bởi thanh dầm có tiết diện ngang là $2 [in^2]$ nên lực căng toàn phần trên thanh dầm là $6000 [lb]$.



Hình 5.4 – Phép đo lực căng trong thanh dầm thép bằng dây đo biến dạng (ví dụ 5.1.1).

Ví dụ 5.1.2 (làm lại với đơn vị đo SI)

Một dây đo biến dạng và mạch cầu được dùng đo lực căng trong một thanh dầm thép có tiết diện ngang là $13[cm^2]$. Dây đo biến dạng có điện trở định mức là $120[\Omega]$ và hằng số K bằng 2. Mạch cầu được cung cấp $10[V]$. Nếu thanh dầm không phải chịu tải thì cầu cân bằng và điện áp ra bằng $0[V]$. Khi tác dụng lực lên thanh dầm thì điện áp cầu đạt đến $0,0005[V]$. Tìm lực tác dụng lên thanh dầm.

Giải.

Đầu tiên hãy tính sự thay đổi điện trở dây đo biến dạng do tác dụng lực.

$$\Delta R \approx \frac{4R\Delta V}{V_s} = \frac{4 \cdot 120[\Omega] \cdot 0,0005[V]}{10[V]} = 0,024[\Omega].$$

Tiếp theo, hãy tính độ giãn dài (biến dạng) của dây đo biến dạng:

$$\varepsilon = \frac{\Delta R/R}{K} = \frac{0,024/120}{2} = 0,0001[cm/cm].$$

Cuối cùng, sử dụng biểu thức (5.24):

$$E = \frac{\rho}{\varepsilon};$$

để tính toán lực trên thanh dầm. Việc này đòi hỏi phải tra tìm trị số của modul Young. Từ bảng 5.3 ta tìm được nó bằng $20,7 \cdot 10^6 [N/cm^2]$ đối với thép. Biến đổi biểu thức (5.24) ta có:

$$\rho = E \cdot \varepsilon = 20,7 \cdot 10^6 [N/cm^2] \cdot 0,0001[cm/cm] = 2070 [N/cm^2].$$

Kết quả này có nghĩa là lực kéo căng trên thanh dầm là $2070 [N/cm^2]$, và bởi thanh dầm có tiết diện là $13[cm^2]$, nên lực căng toàn phần trong thanh dầm là $26.910 [N]$.

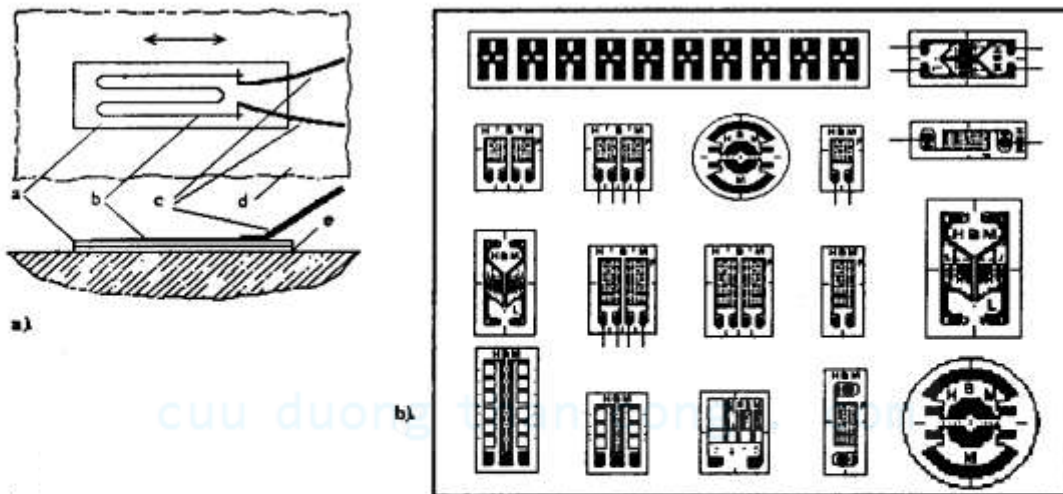
Về mặt công nghệ chế tạo và lắp đặt, có hai dạng phần tử dây đo biến dạng:

- Dây đo biến dạng kiểu ghép chặt *bounded wire*; và:

- Kiểu không ghép chặt *unbounded*-.

Các dây đo biến dạng kiểu ghép chặt có thể ở dạng sợi dây trở hay dạng màng mỏng điện trở hay điện dẫn (hình 5.5). Phần tử dây đo kiểu không ghép chặt gồm một sợi dây trở căng giữa hai điểm (xem hình 5.7), và có thể được tạo hình ngay trong quá trình lắp đặt cảm biến, nhất là đối với những ứng dụng chuyên biệt.

Trong ứng dụng thực tế, các dây đo biến dạng thường không trải thẳng cả chiều dài mà xếp theo hình như trong hình 5.5. Việc chế xuất những cảm biến co giãn đàn hồi kiểu dây trở *strain gauge* như vậy là tương đối tiện dụng. Công nghệ ăn mòn điện hoá cho phép thực hiện những phần tử biến trở dạng màng, có nhiều hình dáng tùy theo những ứng dụng khác nhau. Dây đo biến dạng kiểu này bao gồm một dây kim loại được tạo mẫu sao cho độ nhạy dẫn dài *elongation* ưu tiên theo một hướng. Các dây đo biến dạng sẵn có từ một vài nhà thiết kế mẫu *vendors*, và in ấn thành hàng trăm hình mẫu màng mỏng có thể chọn lựa, các mẫu hình khác nhau cho ta độ nhạy biến dạng theo những hướng khác nhau. Hình 5.5b giới thiệu một số mẫu màng điện trở biến dạng.



Hình 5.5 – a). Nguyên lý biến trở đàn hồi kiểu dây trở: (a) – Nền cảm biến; (b) – Dây trở; (c) – Dây nối ra; (d) – Đế; (e) – Vật liệu kết dính.
b). Phần tử màng biến trở biến dạng đàn hồi.

Để làm vật liệu biến trở đàn hồi, người ta chọn những hợp kim có hệ số nhiệt của điện trở đặc trưng rất nhỏ. Đó là các hợp kim đồng-nickel (constantan), nickel-chromium (nichrom), sắt-nickel, platin-wolfram, vv... Bên cạnh những cố gắng loại trừ ảnh hưởng nhiệt độ lên điện trở dây đo, người ta cũng cố gắng khắc phục ảnh hưởng sự thay đổi kích thước của vật thể do biến động nhiệt độ, nhưng việc này khá là khó khăn, chỉ có thể thực hiện trong một phạm vi nhỏ. Đối với những trường hợp tải động, ví như việc ghi nhận những rung động, người ta sử dụng những hợp kim đặc biệt. Vật liệu nền và chất keo dán là đa dạng, đòi hỏi phải có kinh nghiệm lựa chọn và sử dụng.

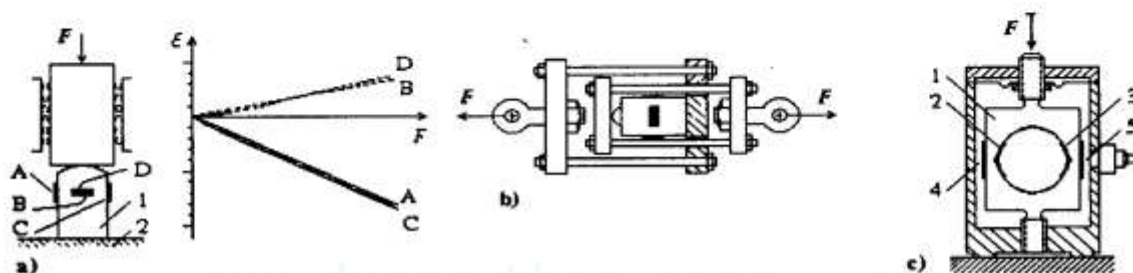
Có lẽ phương án phổ biến nhất là dây đo kiểu màng mỏng *foil-type*, được chế tạo bằng kỹ thuật quang-khắc *photo-etching*, dùng cùng loại vật liệu hợp kim như kiểu dây sợi (như constantan, nichrom, sắt-nickel, platin-wolfram, vv...).

Các cảm biến dựa trên cơ sở công nghệ màng biến dạng *foil strain gage* được thiết kế theo ý niệm dành cho phép đo chính xác trọng lượng tĩnh hay lực hoặc tải trọng chuẩn động học *quasi-dynamic*. Thiết kế các cảm biến kiểu màng biến dạng bao gồm những kết cấu được thiết kế đặc dụng để vận hành theo kiểu có thể dự báo trước và có khả năng lặp lại khi tác dụng lực, tải trọng hay trọng lượng.

Các kiểu cảm biến biến dạng đàn hồi.

Bộ phận cơ khí thiết yếu nhất của mọi cảm biến dây đo biến dạng là phần tử đàn hồi "*spring element*". Theo thuật ngữ chung, phần tử đàn hồi làm việc như cơ cấu phản ứng lại với tác dụng lực, tải trọng hay trọng lượng. Có những nỗ lực nhất thể hoá *uniform* phần tử, tính toán đường dây biến dạng cho phép đo chính xác bởi dây đo biến dạng gắn kết *bonded*. Có ba dạng kết cấu thiết kế sử dụng trong công nghiệp, là dạng thanh dầm *bending beam*, dạng cột *column* và dạng trượt *shear*, chúng ta sẽ khảo sát cụ thể hơn ở phần sau.

Hình 5.6a giới thiệu một cách khái quát phép đo lực dùng các cảm biến biến dạng đàn hồi. Ở đây lực tác dụng được tiếp nhận bởi một ống hình trụ (1), đặt trên đế cứng (2). Điểm đặt của lực tác dụng lên đầu đo phải sao cho thích hợp, càng tập trung thành điểm càng tốt. Tuy nhiên máy đo dùng phần tử biến dạng đàn hồi (A và C, B và D) cũng phải được đặt xa điểm tác dụng lực, bởi nếu không thì độ ép nén sẽ không trung thực. Hình 5.6b là cấu trúc nguyên lý một phần tử cảm biến lực kéo. Hình 5.6c giới thiệu một kiểu cấu trúc máy đo lực có phần tử cảm biến đàn hồi dạng vòng. Trong đó, vật thể đàn hồi (1) có dạng vòng tròn gắn các phần tử biến dạng đàn hồi (2), (3), (4), (5).



Hình 5.6 – Phép đo lực dùng phần tử biến dạng đàn hồi.

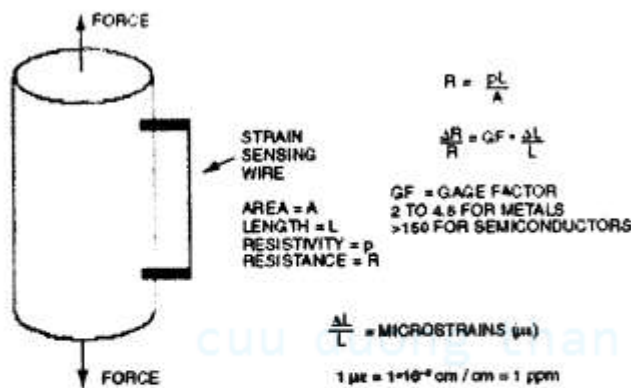
Dây đo biến dạng kiểu không ghép chặt *unbonded wire* (hình 5.7) gồm một sợi dây dẫn căng giữa hai điểm. Lực tác dụng lên sợi dây (tiết diện = A ; chiều dài = L ; điện trở suất = ρ) sẽ làm dây giãn ra hay co ngắn lại, làm điện trở tăng hay giảm một cách tỷ lệ (xem biểu thức (5.6) và (5.15)). Ở đây, hệ số dây đo lớn hơn thì kết quả tương ứng là điện trở sẽ thay đổi nhiều hơn – do đó độ nhạy cũng cao hơn.

Đại lượng vi sai tỷ đối (không đơn vị) $\Delta L/L$ là số đo lực tác dụng lên dây và được biểu diễn ở microstrain ($1 \mu e = 10^{-6} cm/m$), cũng như cách biểu diễn phần triệu *parts-per-million* (ppm). Từ biểu thức trên, lưu ý rằng hệ số dây đo lớn hơn thì kết quả tương ứng là điện trở sẽ thay đổi nhiều hơn – do đó độ nhạy cũng cao hơn.

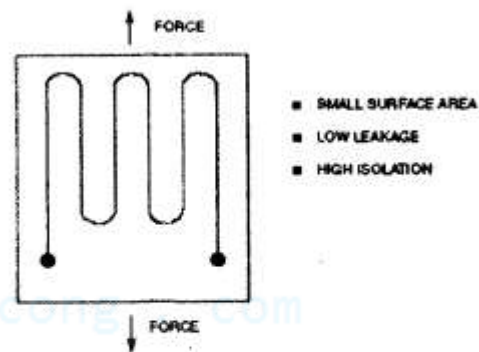
Dây đo biến dạng kiểu ghép chặt *bonded wire* (hình 5.8) gồm một sợi dây mảnh hay màng mỏng điện dẫn được xếp theo mẫu hình

đồng diện *coplanar* (thành hình dẹt trên một mặt phẳng) và được đổ chất gắn *cemented* thành nền đế *base* hay vật mang *carrier*. Thông thường, dây đo được lắp đặt sao cho chiều dài của phần điện dẫn càng thẳng hàng càng tốt với hướng ứng suất cần đo. Các dây dẫn nối ra được kẹp với đế nền và đưa ra ngoài để mắc mạch. Các dụng cụ ghép chặt là kiểu được coi có tính thực dụng hơn và được sử dụng rộng rãi hơn so với các dụng cụ kiểu không ghép chặt.

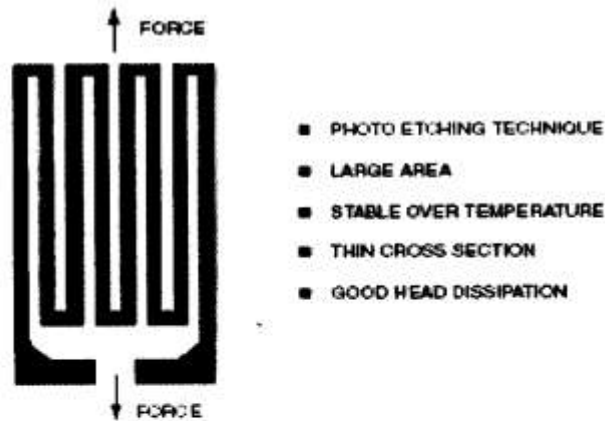
Phương án dây đo ghép chặt kiểu màng mỏng *foil-type* (hình 5.9), được chế tạo bằng kỹ thuật quang-khắc *photo-etching*, dùng các màng hợp kim (constantan, nichrom, sắt-nickel, platin-wolfram, vv...). Các dây đo có phần tử cảm biến dạng sợi có diện tích bề mặt nhỏ so với mẫu thử *specimen*, điều đó hạn chế dòng rò ở nhiệt độ cao và cho phép điện thế cách điện cao hơn giữa phần tử cảm biến và mẫu thử. Ngược lại, các phần tử màng mỏng có tỷ lệ diện tích bề mặt và thiết diện (mặt cắt) lớn hơn và có đặc tính ổn định hơn dưới điều kiện nhiệt độ cực trị (cực cao hay cực thấp) và khả năng chịu tải lâu bền hơn. Diện tích bề mặt lớn hơn và thiết diện mảnh hơn cũng cho phép dụng cụ có khả năng dõi theo nhiệt độ của mẫu thử và gia tăng độ tản nhiệt tự thân của nó.



Hình 5.7 – Dây đo kiểu không ghép chặt.



Hình 5.8 – Dây đo kiểu ghép chặt.



Hình 5.9 – Dây đo biến dạng kiểu màng mỏng kim loại.

Các dây đo biến dạng bán dẫn sử dụng hiệu ứng trở kháng áp-điện trong một số chất bán dẫn nhất định như silicon và germanium, có độ nhạy cao hơn và mức tín hiệu ra lớn hơn. Các dây đo bán dẫn có thể được chế tạo để có những thay đổi hoặc dương hoặc âm khi biến dạng (ứng dụng màng vật liệu bán dẫn silicon hay germanium không tiếp giáp loại *p*- hay loại *n*-). Chúng có thể được chế xuất ở dạng vật lý kích cỡ nhỏ (tế vi) nhưng vẫn giữ được trị số điện trở định mức. Dây đo biến dạng bán dẫn với cầu đo có thể có độ nhạy gấp 30 lần so với các cầu đo dùng cho màng mỏng kim loại, nhưng chúng cũng nhạy với thay đổi nhiệt độ môi trường và khó bù. Sự thay đổi điện trở của cầu đo với dây đo cũng không tuyến tính. Chúng không được ứng dụng rộng rãi bằng các dụng cụ màng mỏng kim loại, ổn định hơn đối với các mục tiêu cần độ chính xác cao. Tuy nhiên, ở những chỗ độ nhạy mới quan trọng và những biến động nhiệt độ là nhỏ thì chúng có thể được ưu tiên hơn. Việc triển khai đo lường cũng được thực hiện tương tự như đối với các cầu đo màng mỏng kim loại, nhưng ít nghiêm ngặt hơn, bởi chúng có mức tín hiệu ra cao hơn và độ chính xác biến cảm giảm.

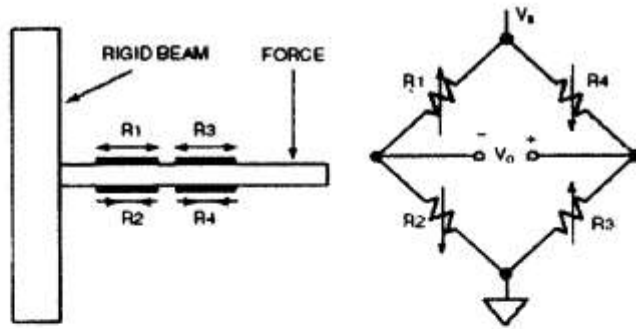
Bảng 5.4 đưa ra những số liệu so sánh thông số của hai kiểu dây đo biến dạng thông dụng nhất hiện nay: đó là dây đo biến dạng kim loại và dây đo bán dẫn trên nền silicon (mà phần trên đã nêu sơ lược

về các dây đo biến dạng bán dẫn silicon để so sánh, chi tiết hơn sẽ được khảo sát ở phần sau, mục 5.1.2).

Bảng 5.4 – So sánh dây đo biến dạng màng mỏng kim loại và bán dẫn.

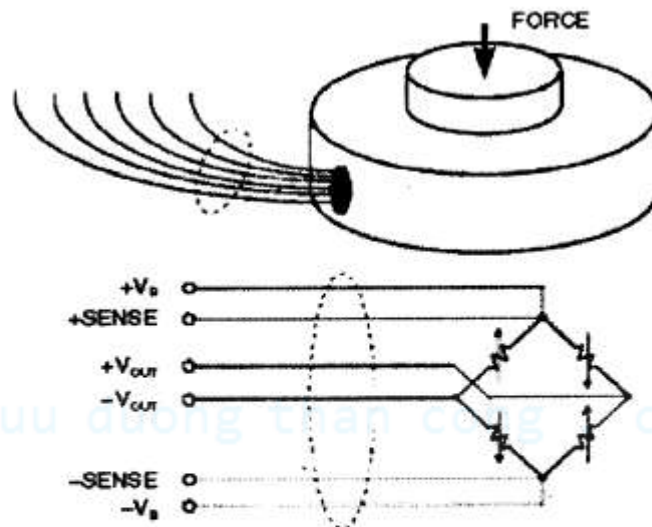
Thông số	Dây đo biến dạng kim loại	Dây đo biến dạng bán dẫn
Phạm vi đo, [$\mu\epsilon$]	0,1 ÷ 40.000	0,001 ÷ 3000
Hệ số dây đo	2,0 ÷ 4,5	50 ÷ 200
Điện trở, [Ω]	120; 350; 600; ...; 5000	1000 ÷ 5000
Dung sai điện trở, [%]	0,1 ÷ 0,2	1 ÷ 2
Kích thước, [mm]	0,4 ÷ 150 (tiêu chuẩn: 3 ÷ 6)	1 ÷ 5

Các dây đo biến dạng đo lực, như trong hình 5.10, trong kết cấu thanh dầm *beam* có khung gờ *cantilever*, khi chịu tác dụng lực sẽ bị lệch nhẹ hay uốn cong. Bốn dây đo biến dạng được dùng để đo độ uốn của thanh dầm, hai dây ở mặt trên, hai dây ở mặt dưới. Các dây đo được nối với một mạch cầu đo toàn phần. Cấu trúc mạch cầu này cho độ nhạy tối đa và vốn là tuyến tính. Cấu trúc mạch cầu này cũng cho phép hiệu chỉnh bậc nhất *first-order* đối với hiện tượng trôi nhiệt độ trong từng dây đo riêng lẻ. Các dây đo biến dạng là dụng cụ trở kháng thấp; chúng đòi hỏi phải có nguồn kích thích công suất lớn để có được mức điện áp ra thích hợp. Một cầu đo tế bào tải trọng dựa trên cơ sở dây đo biến dạng điển hình có trở kháng là 350 Ω (điển hình) và được đặc trưng là có độ nhạy cỡ vài millivolts trên toàn thang đo đối với điện áp kích thích một volt.



Hình 5.10 – Dây đo biến dạng trong cảm biến lực dạng thanh dầm.

Tế bào tải trọng được tổ hợp từ bốn dây đo biến cảm mắc thành mạch cầu như trong hình 5.11. Đối với điện áp kích thích cho cầu bằng 10 [V], thì cầu đo với độ nhạy 3 [mV/V] sẽ có tín hiệu 30 [mV] khi tải hết thang đo. Có thể làm tăng tín hiệu ra bằng cách tăng điện áp nguồn cung cấp cho cầu, nhưng hiệu ứng phát nhiệt tự thân sẽ giới hạn cách tiếp cận đó: chúng có thể gây nên các chỉ số đo sai hoặc thậm chí làm hư hỏng máy đo. Nhiều tế bào tải trọng có những đầu nối “nhảy” cho phép mắc các mạch điện tử chuẩn hoá tín hiệu để bù trừ điện áp một chiều DC rất trên đường dây. Một vài tế bào tải trọng có thêm những điện trở trong có thể điều chỉnh để bù nhiệt.

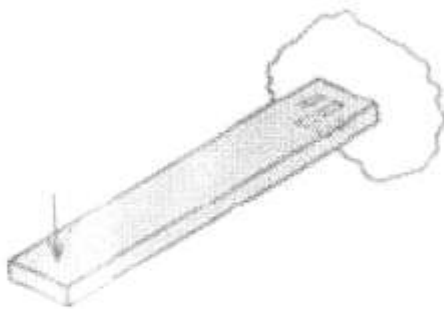


Hình 5.11 – Tế bào tải trọng 6-dây.

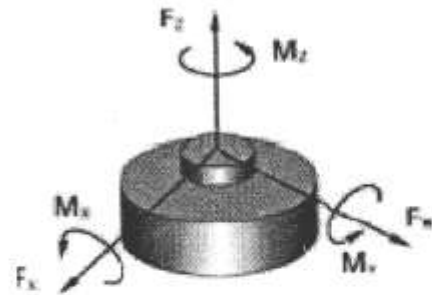
Các dạng kết cấu cảm biến cơ bản.

Cảm biến dạng thanh dầm *Bending Beam*.

Các phần tử đàn hồi của cảm biến dùng kết cấu thanh dầm là thông dụng nhất (hình 5.12). Đó là bởi vì thanh dầm là điển hình kết cấu biến dạng cao, thành phần kết cấu lực thấp, có hai bề mặt đối diện như nhau để gắn dây đo biến dạng. Thiết kế dạng thanh dầm được sử dụng một cách điển hình trong các tế bào tải trọng *load cell* cường độ thấp.



Hình 5.12 – Kết cấu dạng thanh uốn.



Hình 5.13 – Xác định trục của tế bào tải trọng.

Các chế xuất công nghiệp đối với tế bào tải trọng tuân thủ các định nghĩa về trục cảm biến *Axis and Sense Definitions* của NAS-938 (*National Aerospace Standard-Machine Axis and Motion*), thuật ngữ tên gọi và các hướng dẫn của Ủy ban dây đo biến dạng miền Viễn Tây (*Western Regional Strain Gage Committee*). Các trục này được xác định theo nghĩa hệ tọa độ vuông góc là “bàn tay phải” như sau: Một dấu (+) ký hiệu lực theo hướng tạo ra tín hiệu điện áp dương (+) và nói chung lực tác dụng xác định là lực kéo. Trục quay ban đầu hoặc trục đối xứng hướng bán kính của một tế bào tải trọng là trục z, minh họa trong hình 5.13.

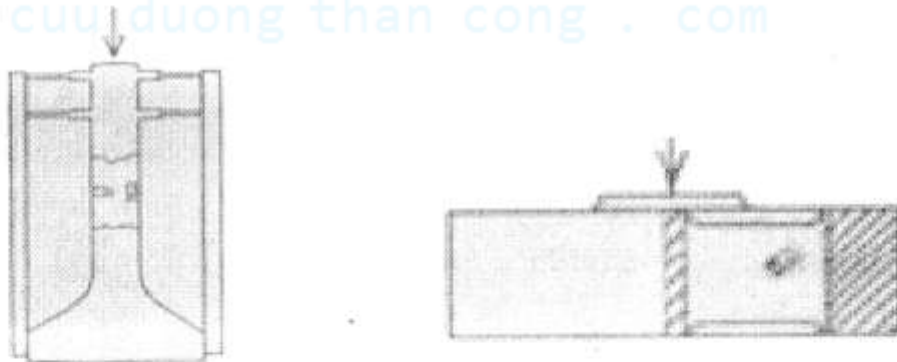
Dạng cột *Column*.

Tế bào tải trọng dạng cột (hình 5.14) là kiểu biến cảm dây đo có sớm nhất. Mặc dù kết cấu đơn giản, phần tử đàn hồi dạng cột đòi

hỏi một số nhận thức về thiết kế và ứng dụng. Cột phải đủ dài so với tiết diện của nó sao cho dây biến dạng của cảm biến có dạng nhất thể hóa. Trong ứng dụng, người sử dụng cuối cùng phải biết được các hiệu ứng phụ, bởi tế bào tải trọng dạng cột nhạy cảm với các hiệu ứng tải trọng ngoài trục *off-axis loading*.

Dạng màng trượt *Shear-Web*.

Nguyên lý của tế bào tải trọng dạng màng trượt *shear-web* điển hình có dạng thanh *beam* có gờ *cantilever* được thiết kế với tiết diện lớn hơn bình thường so với tải trọng định mức phải mang, nhằm hạn chế uốn cong kết cấu (hình 5.15). Trong điều kiện như vậy, biến dạng bề mặt dọc theo đầu thanh dầm sẽ quá thấp để dây đo biến dạng có thể tạo một tín hiệu điện ra tương xứng. Tuy nhiên, nếu các dây đo biến dạng được đặt trên hai mặt thanh dầm ở trục giữa, nơi ứng suất uốn bằng 0 thì trạng thái ứng suất trên mặt thanh dầm là dạng trượt đơn thuần, tác động theo hướng đứng và hướng ngang.



Hình 5.14 – Kết cấu dạng cột. Hình 5.15 – Kết cấu dạng màng trượt.

Trên cơ sở các nguyên lý kết cấu nêu trên, các cảm biến đo lực kiểu dây đo biến trở được hiện thực hoá trong ứng dụng theo các dạng nêu dưới đây. Việc chọn lựa và đặc trưng một cảm biến kiểu dây đo biến dạng là việc đầu tiên phải làm. Các nhận thức ứng dụng điển hình bao gồm những quan tâm về môi trường, độ lớn tác dụng lực, tải trọng hay trọng lượng cần đo, độ chính xác, những hạn chế ràng buộc về

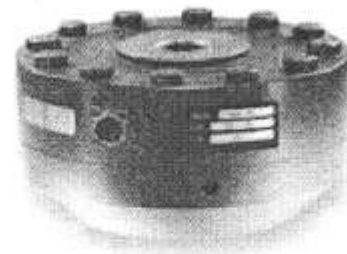
kích thước, tính tích hợp cơ học, sự hiện diện của những lực hay tải ngoại lai, và những yêu cầu kỹ thuật ứng dụng đặc trưng khác.

Kỹ thuật ứng dụng.

Dạng chức năng chung.

Các tế bào tải trọng chức năng chung (hình 5.16) được thiết kế cho những ứng dụng đa dạng trong công nghiệp ô tô, hàng không, và công nghiệp hàng dân dụng. Tế bào tải trọng chức năng chung, như tên gọi cho thấy, được thiết kế thiết thực tự nhiên. Trong thị trường tế bào tải trọng chức năng chung có một vài tiêu chuẩn phân biệt, đó là: độ chính xác, tính đa năng, thang đo trọng lượng, và ứng dụng chuyên biệt.

Các tế bào tải trọng đa năng là loại thông dụng nhất trong các chế xuất công nghiệp. Các tế bào tải trọng tính năng chung phù hợp cho những ứng dụng đo lực trong phạm vi rộng, kể cả cân đo, thử nghiệm máy đo động học *dynamometer*, và các máy thử nghiệm vật liệu. Đa số các thiết kế này làm việc với cả lực kéo và lực nén, và cho độ chính xác và giá trị đo cao.



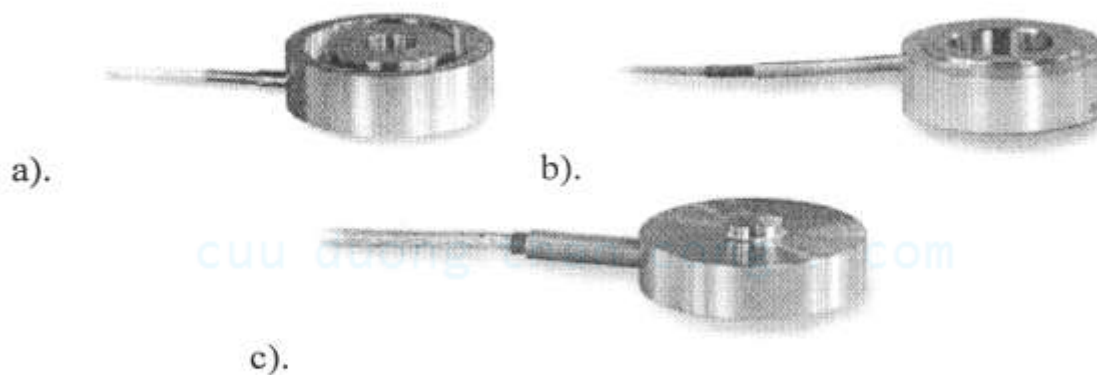
Hình 5.16 – Tế bào tải trọng tính năng chung. Hình 5.17 – Tế bào tải trọng định lượng mỗi.

Dạng định lượng độ mỏi *Fatigue Rated*.

Các tế bào tải trọng định lượng độ mỏi (hình 5.17) đặc biệt được thiết kế và chế xuất để có thể chịu đựng hàng triệu chu kỳ chịu tải.

Nhiều nhà sản xuất lợi dụng các loại thép có khả năng kháng mỏi cao và công nghệ xử lý vật liệu đặc biệt để bảo đảm tích hợp những tính năng kỹ thuật điện và cơ học cao, cũng như độ chính xác. Các tế bào tải trọng định lượng độ mỏi điển hình đảm bảo trong suốt 100 triệu chu kỳ nghịch đảo hoàn toàn (kéo căng hoàn toàn qua 0 tới nén hoàn toàn). Một tiện ích nữa của các tế bào tải trọng dạng định lượng mỏi là chúng đối kháng cực kỳ tốt với sự uốn cong ngoại lai và các lực tải bên ngoài.

Các tế bào tải trọng dạng định lượng mỏi được thiết kế đặc biệt để thử nghiệm độ mỏi của các bộ phận máy móc hay sản phẩm gia công, hoặc trong ứng dụng bất kỳ khi có những tải trọng cao có tính chu kỳ. Tất cả các tế bào tải trọng định lượng mỏi đều được đảm bảo chống tải hỏng hóc do mỏi suốt hơn 100 triệu chu kỳ nghịch đảo lặp lại. Những tế bào tải trọng thô này được chế xuất bằng cách sử dụng những loại thép nhiệt luyện, có khả năng chống mỏi, kim loại quý hiếm. Các chỗ uốn bên trong được thiết kế kỹ càng nhằm hạn chế diện tích tập trung ứng suất. Sự chú trọng đặc biệt được dành riêng cho việc lựa chọn và lắp đặt thích hợp dây đo biến dạng bên trong và việc quấn dây để đảm bảo tuổi thọ tối đa. Các tế bào tải trọng định lượng mỏi có nhiều kiểu dạng kết cấu khác nhau.



Hình 5.18 – Các dạng điển hình: a). Tế bào tải trọng rỗng; b). Tế bào tải đệm; c). Tế bào tải nhấn.

Dạng rỗng *Hollow*, dạng vòng đệm *Washer*, dạng nút nhấn *Button* – Các tế bào dạng tải nén rỗng *hollow compression load*, dạng tải đệm *load washer* và dạng tải nhấn *load buttons* là những chọn lựa thông dụng khi ứng dụng đòi hỏi một cảm biến nhỏ gọn *compact*. Những cảm biến này sẵn có trong một phạm vi rộng kích cỡ và tính năng. Các tế bào tải trọng dạng nén rỗng có ích trong những ứng dụng đòi hỏi tải trọng xuyên qua trực tiếp tế bào. Dạng tải đệm có thể dùng xác định lực kẹp đối với moment xoắn trên các kiểu đầu kẹp. Dạng tải nhấn có một bề mặt tải trọng tích hợp hình cầu và nói chung được dùng đo tải nén trong công nghiệp chế tạo và trong các thử nghiệm.

Dạng đa thành phần – Những cảm biến này dùng đo đồng thời các lực đa thành phần *multiple forces* và moments lực chỉ bằng một biến cảm. Các ứng dụng đa thành phần bao gồm thử nghiệm độ mỏi của máy, thử nghiệm tính đồng đều vành bánh xe *tire uniformity* và những yêu cầu thử nghiệm ô tô. Điển hình là có những bộ phận thu nhận hay cấp nối riêng lẻ được cung cấp cho từng trục, hoặc từng kênh đo. Đòi hỏi phải có một sự phân tích cấu trúc kỹ lưỡng để cách ly các lực tác dụng và moments tạo ra trong giao thoa nhiều *cross-talk*. Các phần tử cảm biến dạng này sẵn có một loạt các kết cấu và tổ hợp các phép đo lực và moments.



Hình 5.19 – Tế bào tải trọng đa thành phần điển hình.

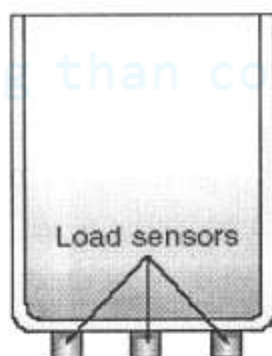
Dạng chuyên dụng *Special Application*..

Các tế bào tải trọng chuyên dụng là những tế bào tải trọng được thiết kế cho những nhiệm vụ đo lực đặc biệt, duy nhất. Các tế bào tải trọng chuyên dụng có thể có trục đơn hay nhiều trục.

Các cảm biến đo lực thấp. Phần tử cảm biến điện dẫn.

Các cảm biến tải trọng đo lực cơ học. Các lực có thể lớn hay nhỏ – lớn thì như trong cân đo các đối tượng nặng (cân cả bốn chứa, xem hình ...), hay nhỏ như trong việc phát hiện các áp suất xúc giác lực thấp.

Biến cảm đo lực kiểu dây đo biến dạng (gọi là tế bào tải trọng *load cells*) được chế sẵn như một khối độc lập có thể lắp ráp vào bất kỳ chỗ nào trong hệ. Một tế bào tải trọng có thể bao gồm hai dây đo biến dạng (dây tích cực và dây bù) và một mạch cầu (xem các hình 5.3; 5.4; 5.10; 5.11). Ứng dụng điển hình đối với các tế bào tải trọng là kiểm tra trọng lượng của bồn chứa. Bồn chứa được đặt lên ba hoặc bốn tế bào tải trọng, nên trọng lượng của bồn là tổng tín hiệu ra của các tế bào tải trọng (xem hình 5.20).



Hình 5.20 – Cân bể chứa dùng bộ tế bào tải trọng..

Trong các trường hợp đo lực tác dụng nhỏ như trong các cảm biến xúc giác, có sự biến dạng nhẹ bởi lực tác dụng thấp, thì phép đo mà các cảm biến đo lực thực hiện, thường không phải là đo lực một cách trực tiếp. Điển hình là sự biến dạng này rất nhỏ. Một khi lượng chuyển dịch sức căng *tension* (giãn nở *stretching*) hoặc chuyển dịch lực nén *compression* (ép nén *squeezing*) được đo lường, thì có thể tính toán được lực gây ra nó bằng cách dùng các thông số cơ học của hệ. Tỷ lệ

của lực trên biến dạng là hằng số đối với mỗi loại vật liệu, như định luật Hook xác định bằng:

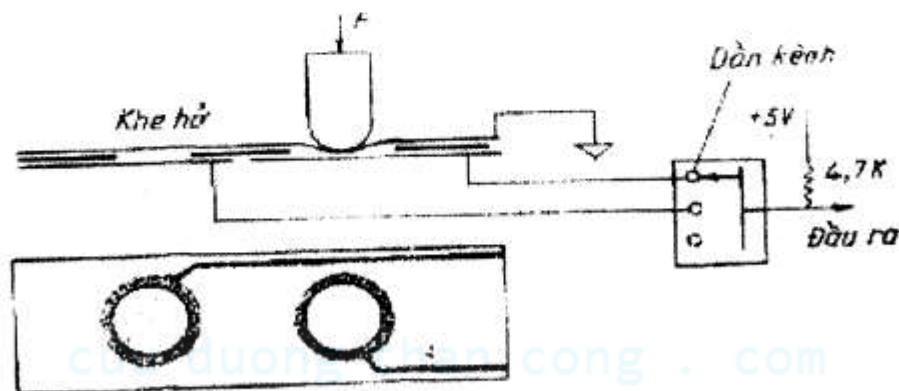
$$F = K.X ; \quad (5.25)$$

ở đây: K – hằng số đàn hồi *spring constant* của vật liệu; F – lực tác dụng; X – độ dãn nở hay độ ép nén như kết quả tác dụng lực.

Ví dụ, nếu một bộ phận cơ khí có hằng số đàn hồi là 1000 [lb/in.] và nó bị nén 0,5 [in.] dưới một lực, khi đó tải trọng phải là 500 [lb].

Cảm biến xúc giác thuộc loại cảm biến điện dẫn, loại biến cảm chuyển đổi lực và áp suất đặc biệt, có bề mặt rất mỏng, dùng ở những chỗ lực và áp suất giữa hai mặt cách biệt lân cận nhau, ví dụ như trong tay máy, bàn phím máy tính, màn hình tiếp xúc, trong y sinh, vv...

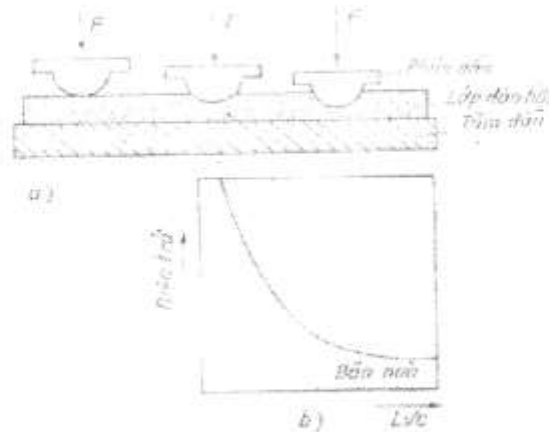
Hình 5.21 giới thiệu một cảm biến xúc giác đơn giản, theo nguyên lý biến đổi điện dẫn, bằng hai lá mỏng dẫn điện ghép trên một miếng đệm có lỗ hình dáng thích hợp. Khi có lực tác dụng lên lá dẫn trên, nó bị uốn xuống chạm lá dưới và tiếp xúc dẫn điện nối mạch đất, điện áp đầu ra bằng 0 chứng tỏ có lực tác dụng. Lá dẫn có thể chế tạo dạng mạch in trên nền chất dẻo (như bàn phím máy tính).



Hình 5.21 – Cảm biến xúc giác bằng màng chuyển mạch điện dẫn.

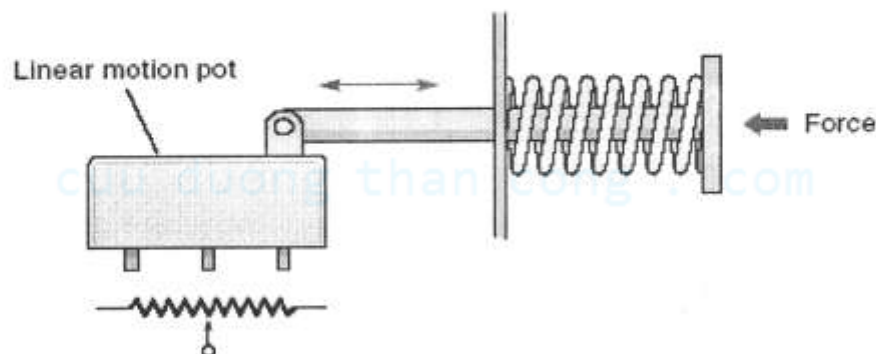
Hình 5.22 giới thiệu một dạng khác của cảm biến xúc giác điện-dẫn đàn hồi, dựa trên cơ sở nguyên lý là điện trở tiếp xúc thay đổi theo diện tích bề mặt tiếp xúc đàn hồi dưới tác dụng của lực nén. Chất

điện-dẫn đàn hồi là những vật liệu đàn hồi có các hạt hoặc sợi dẫn điện như cao-su silicon, polyurethan, ... hay chất lỏng nhạy áp suất. Nhược điểm của nó là bề dày cảm biến phải cỡ 1 [mm].



Hình 5.22 – Cảm biến xúc giác đàn hồi: a). Cảm biến; b). Đặc tuyến.

Ngày càng có nhiều ứng dụng đòi hỏi cảm biến lực thấp. Ví dụ, hãy hình dung yêu cầu độ nhạy đối với một tay gắp robot để giữ ly nước mà không trượt tay và không hất đổ nó. Các dây đo biến dạng có thể đo các lực nhỏ nếu chúng được lắp trên một chất nền dẻo *elastic substrate*, giống như cao su – khi đó một lực nhỏ sẽ gây ra một sự uốn lệch đáng kể và làm thay đổi điện trở. Giải pháp khác là phải cấu trúc một cảm biến lực nhỏ có lò xo và một chiết áp dịch chuyển thẳng (hình 5.23). Lò xo bị nén một khoảng tỷ lệ với lực tác dụng, và khoảng cách này được đo bằng con trượt *pot*.



Hình 5.23 – Cảm biến xúc giác dùng con trượt thẳng tải trọng lò xo.

Ví dụ 5.1.3

Xây dựng kết cấu một cảm biến lực với những thông số kỹ thuật sau:

Phạm vi đo: 0 – 30 [lb];

Độ biến dạng: 0,5 [in.] (tối đa);

Tín hiệu ra: 0,1 [V/lb]

Chuyển dịch thẳng con trượt một khoảng bằng 1[in.] tương ứng 1[kΩ].

Giải.

Sử dụng minh họa hình 5.23, thoát tiên ta cần đặc trưng lò xo. Đặc tính lò xo là biến dạng 0,5 [in.] với lực tác dụng 30 [lb]. Như vậy, hằng số lò xo đàn hồi K bằng:

$$K = \frac{30[lb]}{0,5[in.]} = 60[lb/in.] .$$

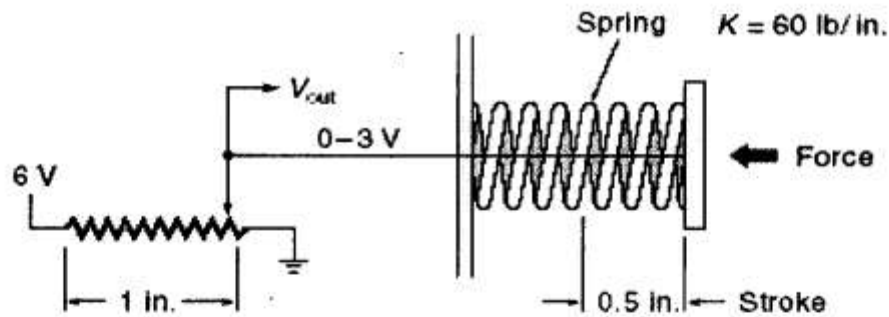
Biết rằng ta cần một lò xo có hệ số đàn hồi $K=60[lb/in.]$, có thể tra sổ tay tra cứu lò xo để chọn.

Độ nhạy mong muốn là 0,1 [V/lb] đặt điều kiện cho ta là tín hiệu điện áp ra tối đa phải cỡ 3 [V] khi tác dụng lực là 30 [lb]: điện áp ở tải cực đại bằng $30[lb].0,1[V/lb]=3[V]$.

Cuối cùng, ta phải xác định điện áp nguồn cung cấp trên con trượt. Con trượt đưa ra 3[V] khi nó dịch chuyển 0,5[in.] (một nửa khoảng chạy con trượt). Một tỷ số có thể dùng để tìm ra điện áp cung cấp cho con trượt chạy một khoảng 1[in.] là:

$$\frac{3[V]}{0,5[in.]} = \frac{X}{1[in.]} \cdot X = 6[V] .$$

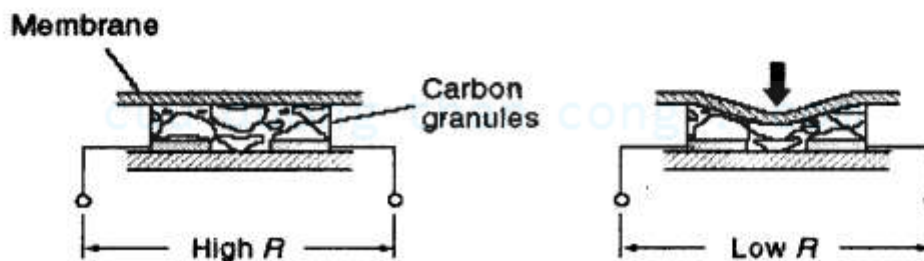
Từ đó, điện áp nguồn cung cấp phải là 6[V]. Hình 5.24 minh họa cấu hình cảm biến này.



Hình 5.24 – Đặt định một cảm biến xúc giác (ví dụ 6.1.3).

Một cảm biến đo lực nhỏ dạng xúc giác có thể được chế tạo bằng cách dùng chất xốp điện dẫn. Đó là nguyên lý được dùng trong các bàn phím kiểu màng minh hoạ trên hình 5.25. Chất xốp điện dẫn là chất liệu cao su xốp nhẹ bão hòa các hạt carbon rất nhỏ. Khi chất xốp bị ép, các hạt carbon bị nén lại với nhau, và điện trở vật liệu giảm xuống. Như vậy, theo một kiểu nào đó, điện trở tỷ lệ với lực. Hiện thời thì khái niệm này đã tìm được ứng dụng hạn chế trong những thứ như bàn phím máy tính; bởi tính đơn giản và giá thành thấp của nó, tuy nhiên, đó cũng là phương cách sống động cho những ứng dụng khác như các cảm biến xúc giác của robot.

Cuối cùng, một cảm biến xúc giác rất đơn giản có thể chế tạo bằng hai hay nhiều hơn các chuyển mạch giới hạn (contact cứng) được ráp kề cận với các cơ cấu chấp hành lò xo được đặt định để mở ở những áp suất khác nhau. Khi áp suất tăng lên, chuyển mạch đầu đóng mạch, rồi khi áp suất lớn hơn thì chuyển mạch tiếp theo sẽ đóng, và cứ vậy tiếp tục.



Hình 5.25 – Cảm biến xúc giác kiểu màng xốp điện dẫn.

Đó thuộc dạng phần tử cảm biến bán dẫn đàn hồi silicon, mà phần tiếp sau sẽ trình bày chi tiết hơn.

5.1.2 – Phần tử biến dạng đàn hồi bán dẫn.

Phần tử cảm biến dạng bán dẫn silicon.

Bên cạnh những phần tử biến trở dạng dây đo biến dạng *Strain Gage* và màng trở biến dạng *Thin Film Strain Gages*, thì những biến trở bán dẫn *Silicon Strain Gage* cũng rất phổ biến. Ở đây ứng dụng thuộc tính thay đổi điện trở theo biến dạng cơ học của màng vật liệu bán dẫn silicon loại *p*- hay loại *n*-. Các phần tử dạng này phổ biến là vi mạch biến trở silicon (*silicon chip*) dùng đo áp suất.

Những khối cảm biến này thay đổi điện trở khi có lực tác dụng và cỡ 25 – 100 lần nhạy hơn dây đo biến dạng kiểu dây điện trở kim loại ghép chặt. Một dây đo biến dạng bán dẫn là một vạch đơn vật liệu silicon được gắn kết thành một kết cấu. Khi kết cấu bị đàn ra, silicon bị giãn dài và điện trở từ đầu nọ tới đầu kia sẽ tăng lên (tuy nhiên, sự thay đổi điện trở không tuyến tính).

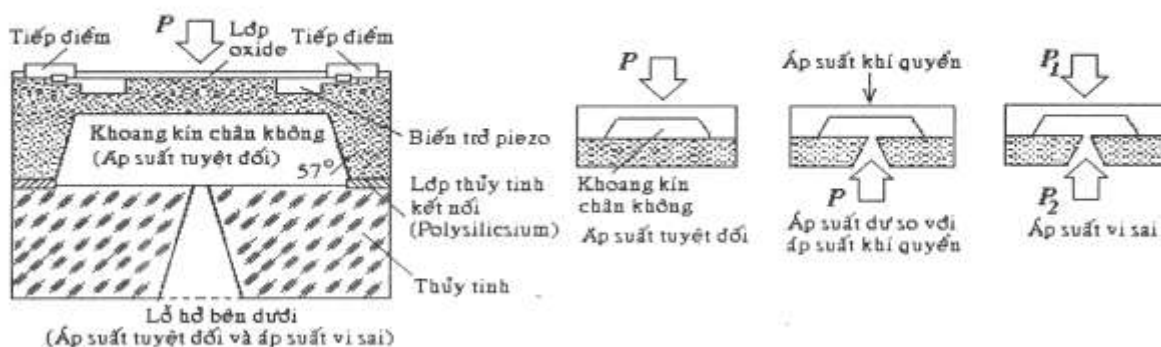
Phân biệt hai dạng bán dẫn:

- Phần tử vi mạch silicon được khuyếch tán hay cấy (*plana*) lớp điện trở;
- Phần tử vi mạch silicon áp ở mặt sau của màng đàn hồi bằng kim loại quý.

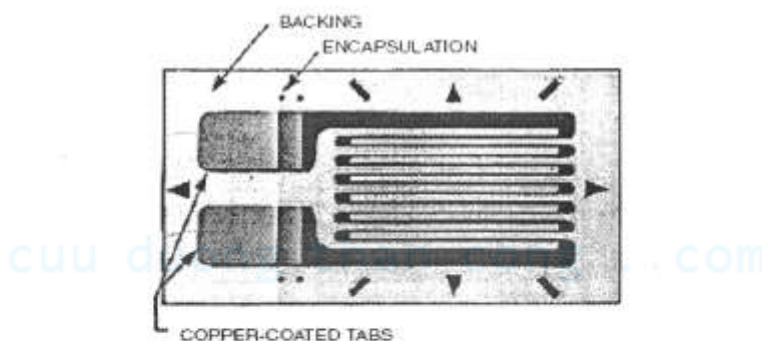
Loại thứ hai có đặc điểm là bản thân linh kiện vi mạch silicon không tiếp xúc trực tiếp với môi trường đo, đặc biệt là khi dùng trong môi trường xâm thực, ăn mòn, được màng kim loại quý ngăn cách để bảo vệ tính năng biến đổi điện trở của phần tử cảm biến.

Đối với phần tử vi mạch biến trở, lực tác dụng làm biến dạng màng silicon – bộ phận cấu thành cơ bản của phần tử cảm biến. Hình 5.26 giới thiệu nguyên lý cấu trúc phần tử cảm biến này. Phần sau, khi nói về các phần tử cảm biến đo các dạng áp suất khác nhau sẽ nêu chi

tiết hơn về kết cấu các cảm biến theo nguyên lý này (xem thêm các hình 5.65 – 5.69).



Hình 5.26 – Nguyên lý cấu trúc phần tử vi mạch biến trở silicon.



Hình 5.27 – Dây đo biến dạng màng mỏng. (Courtesy of Vishay).

Trong những năm lại đây đã phát triển ngành công nghiệp chế tạo và thị trường các loại dây đo biến dạng màng mỏng và cả những công cụ và thiết bị cần thiết để ghép nối những dây đo này với các kết cấu cơ khí khác nhau. Hình 5.27 là ảnh chụp một dây đo biến dạng kiểu màng mỏng. Dây đo biến dạng kiểu này bao gồm một dây kim loại được tạo mẫu sao cho độ nhạy dãn dài *elongation* ưu tiên theo một hướng. Các dây đo biến dạng sẵn có từ một vài nhà thiết kế mẫu *vendors*, và in ấn thành hàng trăm hình mẫu màng mỏng có thể chọn lựa. Các mẫu hình khác nhau cho ta độ nhạy biến dạng theo những hướng khác nhau. Vài năm lại đây, nhiều lợi ích đã được rút ra từ thực tế là chất silicon có phụ gia *doped silicon* là chất điện dẫn có hệ số dây đo lớn hơn 200 tùy theo lượng phụ gia pha tạp. Điều này tạo cơ hội chế

tạo các dây đo biến dạng điện dẫn silicon và dùng chúng để tạo ra các cảm biến nhạy hơn là chế từ bất kỳ vật liệu nào khác.

Phần tử cảm biến áp-điện piezoelectric.

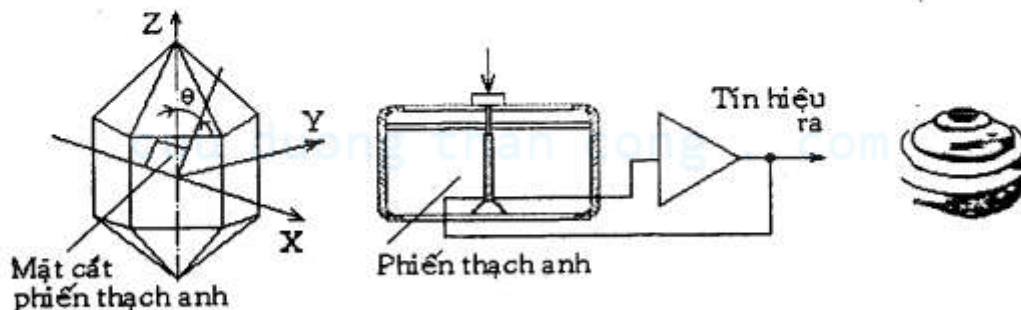
Nguyên lý cảm biến dạng khối tinh thể. Một dạng phần tử biến dạng đàn hồi bán dẫn là cảm biến áp-điện piezo, ứng dụng hiệu ứng áp-điện trong tinh thể piezo – sự phân cực của các tinh thể có tính đối xứng nào đó khi chịu tác dụng ứng suất, thể hiện ở sự xuất hiện các điện tích trái dấu trên các mặt đối diện của tinh thể khi bị làm biến dạng (nén hay kéo) theo phương vuông góc với các mặt. Sự biến dạng tinh thể dẫn đến sự xuất hiện các điện tích bề mặt. Do vậy, nguyên lý đo ở đây là đo điện tích trên bề mặt bản tinh thể áp-điện piezo khi tác dụng lực lên bề mặt vuông góc của nó.

Trong hơn 100 chất áp-điện, các tinh thể áp-điện phổ dụng trong kỹ thuật là thạch-anh, tinh thể áp-điện tự nhiên tuamalin, các muối senhet, ...

Hình 5.28 giới thiệu nguyên lý một phần tử cảm biến lực thạch-anh. Phiến thạch-anh được nối với bộ khuếch đại có phản hồi dương tạo dao động tinh thể thạch-anh với tần số cơ bản f_0 và độ lệch tần khi có tải Δf :

$$\Delta f = F \frac{Knf_0^2}{D}; \tag{5.26}$$

ở đây: K – hằng số; n – số mode; D – kích thước tinh thể.



Hình 5.28 – Nguyên lý phần tử cảm biến áp-điện thạch-anh.

Để bù ảnh hưởng nhiệt độ lên biến thiên tần số, có thể sử dụng tinh thể kép, trong đó một nửa dùng để bù nhiệt độ. Mỗi bộ cộng hưởng được nối với mạch dao động của nó và tần số tổng được trừ cho nhau.

Các cảm biến lực kiểu thạch anh áp-điện được thiết kế theo ý niệm phù hợp cho phép đo động học các dao động lực, lực va đập *impact*, hay các lực kéo/nén tần suất cao. Cơ sở thiết kế dựa trên nguyên lý hiệu ứng áp-điện, các ứng suất cơ học hiện diện được chuyển đổi thành điện tích tĩnh điện tích tụ trên bề mặt tinh thể (hình 5.29).



Hình 5.29 – Hiệu ứng áp-điện *piezoelectric*.

Các tinh thể thạch anh áp-điện chỉ tạo ra điện tích tĩnh điện khi được cung cấp lực hay lực tác dụng bị lấy ra khỏi chúng. Nói cách khác, nếu cung cấp một lực tĩnh lên một cảm biến lực kiểu áp-điện, thì điện tích tĩnh điện ban đầu được tạo nên ở đầu ra kết cục là sẽ rò thoát và đầu ra cảm biến cuối cùng lại trở về 0.

Tốc độ rò thoát điện tích trở về 0 biến thiên dạng hàm mũ và tùy thuộc hằng số thời gian phóng điện *DTC discharge time constant* của cảm biến. Hằng số thời gian *DTC* là khoảng thời gian cần thiết để cảm biến và hệ đo lường phóng tín hiệu xuống tới 37% giá trị ban đầu, nếu kích thích đầu vào dạng bước nhảy đơn vị. Trị số này (tính bằng giây *s*) thường biết trước và được xác định bằng cách nhân trị số thấp nhất của điện trở lớp cách điện (tính bằng *ohm*) với điện dung toàn phần (tính bằng *farad*) của hệ mắc trước mạch khuếch đại. (Điều này đúng đối với mọi cảm biến áp-điện, bất kể vận hành là đo tác dụng lực, đo áp suất hay rung động).

Hằng số thời gian DTC của một hệ có liên quan trực tiếp tới khả năng kiểm soát tần số thấp của hệ. Chính vì đặc tính này mà các cảm biến lực kiểu áp-điện chỉ được sử dụng trong các phép đo chuẩn tĩnh “*quasi-static*” mà không thể dùng cho các ứng dụng đo trọng lượng.

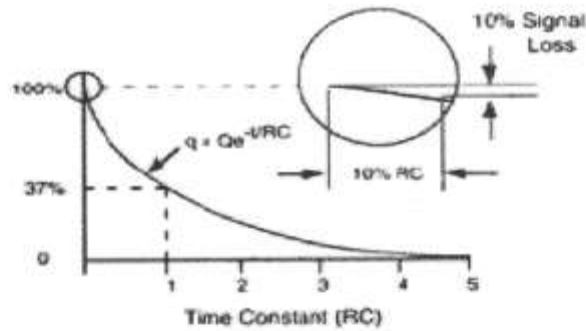
Để giúp minh họa bản chất đặc tính hằng số thời gian phóng điện DTC, giả thiết rằng một trọng lượng nào đó đặt lên đầu một cảm biến lực áp-điện. Thoạt tiên, các tinh thể cảm biến áp-điện sẽ tạo ra điện tích Q , nhận ra ngay lập tức ở đầu vào của bộ khuếch đại (mắc ngoài hoặc tích hợp bên trong cảm biến). Tuy nhiên, sau tín hiệu vào ban đầu dạng bước nhảy này, tín hiệu điện tích sẽ giảm dần theo biểu thức:

$$q = Q.e^{-t/RC}; \quad (5.27)$$

ở đây: q – điện tích tức thời (tính bằng *Coulomb* [C]); Q – điện lượng ban đầu (tính bằng *Coulomb* [C]); R – điện trở vào của bộ khuếch đại (tính bằng *ohm* [Ω]); C – điện dung toàn phần của bộ khuếch đại (tính bằng *Farad* [F]); t – khoảng thời gian tính từ thời điểm 0 (tính bằng giây [s]); e – số tự nhiên ($= 2,718$).

Hình 5.30 là đồ thị minh họa biểu thức này. Tích số RC thể hiện hằng số thời gian DTC (tính bằng giây [s]) của cảm biến. Đồ thị cho thấy hằng số thời gian DTC càng dài thì cảm biến càng có khả năng dôi theo những sự kiện lâu hơn một cách chính xác hơn. Nói chung, các cảm biến lực kiểu áp-điện có tích hợp bên trong các bộ phận điện tử có thể có hằng số thời gian biến thiên từ vài giây tới hơn 2000 giây. Có thể điều chỉnh được hằng số thời gian bằng cách thay đổi trị số điện trở R mạch tích hợp trong của cảm biến.

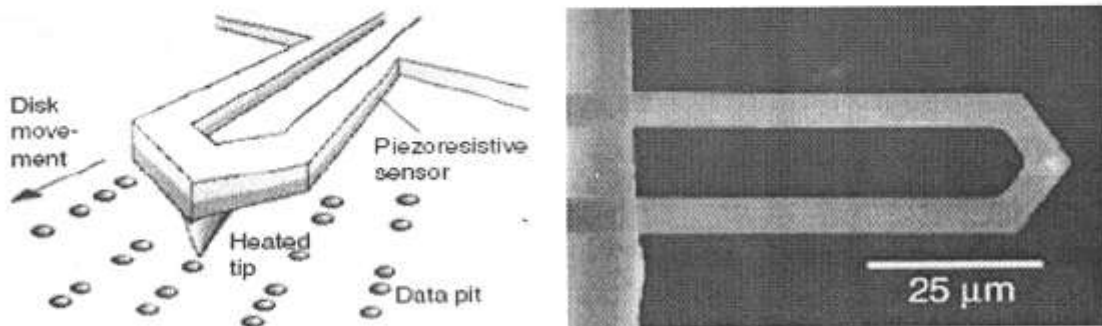
cuuduongthancong.com



Hình 5.30 – Suy giảm do hằng số thời gian.

Các cảm biến kiểu điện tích mà không có mạch điện tử tích hợp bên trong đòi hỏi phải có bộ khuếch đại ngoài (bộ khuếch đại điện tích) để đạt định hằng số thời gian DTC. Một số bộ khuếch đại điện tích có sẵn khả năng điều chỉnh được hằng số DTC.

Một trong những ưu thế khác của silicon là vài năm lại đây đã có sự phát triển kỹ thuật chạm khắc *etching* cho phép chế tạo các cơ cấu vi-cơ từ những chất nền silicon *wafers*. Nói chung, được nói tới như công nghệ chế tạo silicon vi-cơ-điện tử, công nghệ này sử dụng kỹ thuật tạo mẫu và kỹ thuật xử lý của ngành công nghiệp điện tử để định dạng và chế tạo các cấu trúc vi-cơ.



Hình 5.31 – Bộ lưu trữ dữ liệu cơ-nhiệt AFM.
(Thesis của Ben Chui, PhD, công bố 1998).

Công nghệ vi-cơ có thể dùng để chế tạo các cảm biến điện trở áp-điện dạng khung gờ *cantilever* ứng dụng trong phạm vi rộng. Nghiên cứu gần đây (của Ben Chui ở Stanford và John Mamin ở IBM

Almaden) đã tập trung phát triển các cảm biến điện trở piezo dạng khung gờ cho những ứng dụng lưu trữ dữ liệu. Trong thiết kế này, một khung gờ điện trở áp điện dài 100 micron được kéo dọc theo một đĩa bằng polycarbonate với vận tốc 10 [mm/s], bật lên bật xuống khi đi qua những vết in tế vi cỡ micron trên bề mặt đĩa. Ý tưởng này thực sự cần thiết cho chạy kim máy hát chất lượng cao. Mô hình thiết bị giới thiệu trong hình 5.31 minh họa các khung gờ cantilevers thiết kế cho ứng dụng lưu trữ dữ liệu.

Cũng nên lưu ý cách xác định phạm vi đo của cảm biến lực thạch anh áp-điện. Đối với các cảm biến có mạch điện tử tích hợp trong thì nhà sản xuất đặt định sẵn phạm vi đo và có thể xác định bằng cách kiểm thử các đặc tính kỹ thuật của cảm biến. Đối với các cảm biến không có mạch tích hợp trong thì phạm vi đo được đặt định bởi mạch khuếch đại ngoài. Có một loạt các thỏa hiệp giữa mỗi kiểu loại, do đó phải có những lưu ý nhất định trong việc chọn lựa cảm biến cho một ứng dụng cụ thể (nêu ở phần sau).

Ngày nay, trong kỹ thuật đo lường và điều khiển ứng dụng một cách phổ biến hai dạng cảm biến lực kiểu áp-điện thạch anh:

- Kiểu điện tích trở kháng cao *Charge Mode, High-Impedance*.
- Kiểu điện áp trở kháng thấp *Voltage Mode, Low-Impedance*.

Ở đây chúng ta sẽ đi sâu khảo sát những đặc điểm chủ yếu của hai dạng cảm biến lực này, kể cả những vấn đề lựa chọn và đặc điểm ứng dụng của chúng.

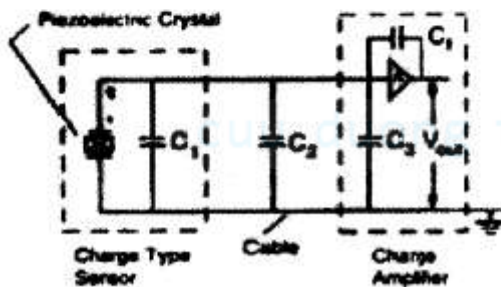
Cảm biến lực áp-điện kiểu điện tích trở kháng cao *Charge Mode, High-Impedance*.

Cảm biến lực (loại áp-điện) kiểu điện tích khi bị nén tinh thể sẽ tạo ra một điện tích tĩnh điện. Đối với những mục đích phân tích hay lưu ghi chính xác, điện tích trở kháng cao này phải được truyền dẫn theo tuyến cáp có độ nhiễu tạp thấp, tới một bộ khuếch đại phối hợp trở kháng *impedance converting amplifier* ví như bộ khuếch đại điện

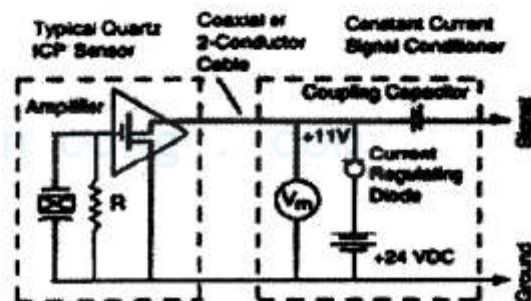
tích thí nghiệm *laboratory charge amplifier* hoặc bộ nguồn tùy động *source follower*. (Có thể kết nối cảm biến trực tiếp tới thiết bị chỉ thị như máy hiện sóng để khảo sát các tác dụng lực tần suất cao, nhưng không thích hợp đối với những phép đo lực có tính định lượng hơn). Chức năng đầu tiên của bộ khuếch đại ngoài là chuyển đổi đầu ra điện tích trở kháng cao thành tín hiệu điện áp trở kháng thấp, sử dụng được cho những mục tiêu phân tích hay lưu ghi.

Hình 5.32 là sơ đồ một hệ cảm biến kiểu điện tích điển hình, bao gồm: cảm biến, cáp truyền tạp nhiễu thấp, và bộ khuếch đại điện tích.

Như đã nói ở trên, trong hệ cảm biến kiểu điện tích, các cảm biến không tích hợp bộ khuếch đại trong. Do đó, phạm vi đo và hằng số thời gian DTC có thể xác định bằng cách đặt định bộ khuếch đại điện tích ngoài. Một điện trở phản hồi làm việc cùng với một tụ điện trong mạch khuếch đại thuật toán *operational amplifier* quyết định những đặc tính này. Các bộ khuếch đại điện tích kiểu phòng thí nghiệm nói chung là có tiện ích thay đổi các tùy chọn *options* phạm vi đo cũng như lựa chọn hằng số thời gian ngắn, vừa hoặc dài. (Giả thiết rằng điện trở cách điện của cảm biến lực và đường cáp nối tới bộ khuếch đại điện tích phải lớn hơn điện trở mạch phản hồi, bởi nếu không thì có thể xảy ra hiện tượng suy giảm chất lượng vận hành như độ trôi tín hiệu. Do đó, để chắc chắn, phải giữ cho các điểm kết nối cảm biến với đường cáp sạch và khô).



Hình 5.32 – Hệ cảm biến kiểu điện tích.



Hình 5.33 – Hệ cảm biến kiểu điện áp.

Cảm biến lực áp-điện kiểu điện áp trở kháng thấp *Voltage Mode, Low-Impedance.*

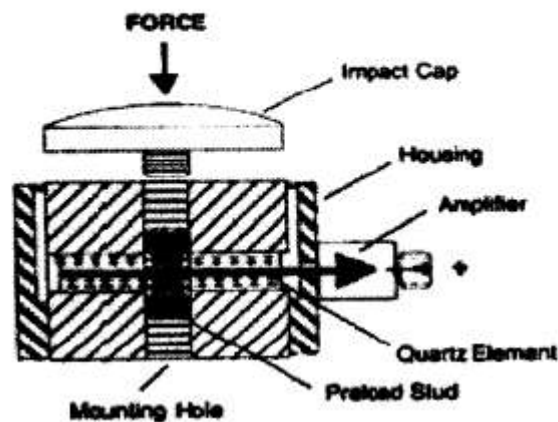
Các cảm biến đo lực kiểu điện áp trở kháng thấp cũng thực hiện theo cùng nguyên lý như cảm biến kiểu điện tích, nhưng có tích hợp bộ khuếch đại vi điện tử bên trong. Bộ khuếch đại này dùng để chuyển đổi trở kháng cao của tín hiệu điện tích lấy ra từ các tinh thể thạch anh thành tín hiệu điện áp trở kháng thấp dùng cho những ứng dụng phân tích hay lưu ghi. Cảm biến kiểu này, được nuôi bởi một nguồn dòng hàng riêng biệt, hoạt động trên đường cáp đồng trục dài thông thường hay băng cáp *ribbon* mà không bị suy giảm tín hiệu. Thêm vào đó, tín hiệu điện áp trở kháng thấp không bị ảnh hưởng bởi nhiễu điện ma sát trong cáp *triboelectric cable noise* (nhiều gây ra bởi những chuyển dịch hay rung động đường cáp) hoặc các chất bám bẩn trong môi trường.

Hình 5.33 trình bày sơ đồ một hệ cảm biến kiểu điện áp hoàn chỉnh.

Phạm vi cảm biến và hằng số thời gian DTC được xác lập bởi các linh kiện mạch khuếch đại trong của cảm biến. (Giả thiết rằng hằng số thời gian DTC của bộ chuẩn hoá tín hiệu lớn hơn hằng số thời gian của cảm biến).

Cấu trúc của cảm biến lực kiểu áp-điện. Hình 5.34 mô tả cấu trúc điển hình của một cảm biến lực thạch anh áp-điện thông dụng. Kết cấu cơ học cơ bản của các cảm biến lực kiểu thạch anh áp-điện thông dụng bao gồm các đĩa màng mỏng thạch anh được “kẹp” (“*sandwiched*”) giữa các tấm nền trên và tấm nền dưới. Một đầu kẹp *stud* (hoặc đôi khi gọi là ống nối *sleeve*) bằng hợp kim đồng-beryllium tương đối dẻo, đàn hồi, để kẹp giữ tấm trên và tấm dưới lại với nhau và làm tải sơ bộ *preload* cho các tinh thể. Việc tải sơ bộ cho tinh thể là cần thiết để chắc chắn rằng các bản trên và bản dưới tiếp xúc trực tiếp với các tinh thể áp-điện thạch anh, đảm bảo độ tuyến tính tốt và có khả năng thực hiện các phép đo cả lực kéo cũng như lực nén. Sau đó toàn bộ kết cấu “phần tử cảm biến” này được bao trong một vỏ bọc

cứng bằng thép không gỉ và hàn kín để bảo vệ các bộ phận bên trong không bị bám bẩn.



Hình 5.34 – Mặt cắt của một cảm biến lực thông dụng.

Lựa chọn và đặc trưng cảm biến lực kiểu áp-điện thạch anh.

Việc chọn lựa và đặc trưng kỹ thuật một cảm biến lực kiểu áp-điện thạch anh là công việc kỹ thuật đầu tiên được thực hiện. Các nhận thức ứng dụng điển hình kể cả độ lớn, tần số và hướng tác dụng lực và các lực cần đo. Những nhận thức phụ thêm có thể kể cả những hạn chế về kích thước, các điều kiện môi trường và những yêu cầu kết hợp cơ học. Tính đến tính đa dạng của các ứng dụng và các yêu cầu kỹ thuật, phần lớn các nhà sản xuất đưa ra giới thiệu một loạt các mẫu kiểu dạng nhằm phù hợp với các ứng dụng điển hình. Chúng có thể bao gồm:

Dạng cảm biến chức năng tổng quát – thực hiện tải sơ bộ bên trong cho phép đo các lực nén và/hoặc lực kéo (hình 5.35). Các ứng dụng điển hình bao gồm thử nghiệm lực va đập *impact*, đục lỗ *punching* và tạo hình *forming*, thử nghiệm rơi nén *drop*, thử nghiệm vật liệu, thử nghiệm độ mỏi *fatigue*, hiện tượng gãy vật liệu *fracture*, các nghiên cứu máy, phân tích hình thái lực tác dụng *modal analysisic force input* và cơ-sinh học *biomechanics*.



Hình 5.35 – Cảm biến lực dạng chức năng tổng quát điển hình.

Cảm biến dạng xuyên thấu – Các cảm biến dạng xuyên thấu *penetration* (hình 5.36) được thiết kế chuyên dụng cho các phép đo lực va đập và lực nén trong các ứng dụng thử nghiệm vật liệu như thử nghiệm mũ sắt *helmet*. Có vỏ bọc hình trụ, nhấn trơn và nắp chụp *caps* được làm cong ngăn ngừa cắt thủng các mẫu thử cho phép thực hiện các phép đo hiệu suất, đo biến dạng, và đo điểm gãy của các chất polymer, composite và các vật liệu khác.

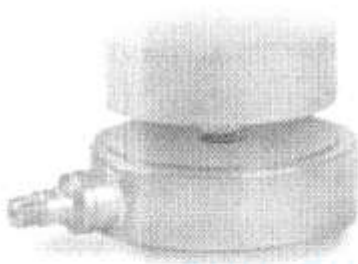


Hình 5.36 – Cảm biến lực xuyên thấu. Hình 5.37 – Cảm biến lực cỡ nhỏ.

Cảm biến kích cỡ thu nhỏ – Kết cấu thu nhỏ của cảm biến cho phép thực hiện các phép đo lực va đập, lực kéo, lực nén cường độ thấp và có động năng cao (hình 5.37). Điển hình là hai cấu trúc, một có lỗ lắp ráp dạng khóa *tapped* và đầu va đập *impact cap*; cấu trúc khác có các lỗ khoá *tapped holes* ở cả hai đầu cảm biến. đều có thể các dạng ghép nối *link*, ghép nối tích hợp *integrated link*, và lắp đặt ở trạng thái tự do *freestanding installations*. Các ứng dụng bao gồm cả những

nguyên cứu đầu in *matrix*, nối dây, và thử nghiệm xung mức thấp hay xung tần số cao.

Cảm biến lực va đập – Các cảm biến lực va đập (hình 5.38) được thiết kế chuyên dụng cho các phép đo lực va đập. Một cách điển hình, cảm biến được lắp đặt theo kiểu gá đỡ tự do có đầu chụp va đập hướng thẳng tới đối tượng mà nó sẽ va chạm. Những ứng dụng kể cả thử nghiệm phá vỡ *crash*, uốn dây *wire crimping* và tạo hình kim loại, nghiên cứu máy, thử nghiệm va đập, thử nghiệm rơi, và các máy thí nghiệm va đập *shock*.



Hình 5.38 – Cảm biến lực va đập.

Hình 5.39 – Cảm biến lực dạng vòng.

Cảm biến dạng vòng – Các cấu trúc cảm biến dạng vòng *ring* (hình 5.39) đo lực nén động học *dynamic compression*. Các phép đo lực kéo cũng có thể có dạng vòng, nếu máy được lắp đặt với tải sơ bộ phù hợp. Giá đỡ lắp ráp ba lỗ xuyên suốt, ghép nối tích hợp, và các lắp đặt kiểu hỗ trợ sử dụng hoặc bulông xuyên suốt hoặc đầu cấp phối *supplied stud*. Độ kéo (sức căng *tension range*) phụ thuộc vào lượng tải sơ bộ đã đặt và độ cứng của đầu lắp sử dụng. Các ứng dụng bao gồm ép viên *tablet presses*, các nguyên công dập khuôn *stamping*, đục lỗ *punching*, và tạo hình *forming*, cân bằng *balancing*, nghiên cứu máy *machinery studies*, và thử nghiệm rung động lực điều khiển *force-controlled vibration testing*.



Hình 5.40 – Cảm biến lực ghép nối.



Hình 5.41 – Cảm biến lực đa thành phần.

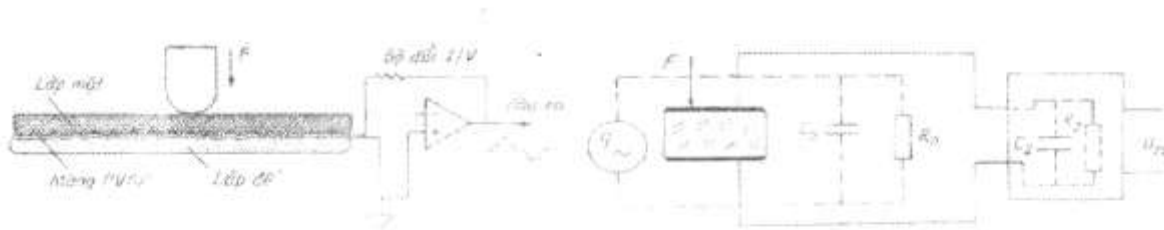
Cảm biến dạng ghép nối – Các cảm biến kiểu ghép nối *link* (hình 5.40) đo lực kéo nén động học. Chúng được cấu trúc bằng cách sử dụng một vòng lực mà có lực tải nén sơ bộ giữa các phần cứng lắp ren. Việc lắp ráp bằng ren ở cả hai đầu cảm biến hỗ trợ kiểu lắp ráp ghép nối tích hợp. Các ứng dụng bao gồm ép viên, thử nghiệm sức căng *tensile testing*, dập khuôn, đục lỗ và các nguyên công tạo hình, cân bằng, nghiên cứu máy, và thử nghiệm rung động lực điều khiển.

Dạng đa thành phần – Các cảm biến dạng đa thành phần *multi-component* (hình 5.41) cho phép đo đồng thời các thành phần vector lực động học ở cả ba chiều. Thêm vào đó, một số cảm biến cũng được thiết kế để đo cả các moments lực. Giá đỡ ba lỗ xuyên suốt, thành phần tích hợp, và các kiểu lắp đặt hỗ trợ sử dụng hoặc bulông xuyên suốt hoặc đầu cấp phôi. Các ứng dụng bao gồm các lực cắt ở các máy công cụ cắt gọt, dập khuôn, đục lỗ và các nguyên công tạo hình, nghiên cứu máy, và các thử nghiệm rung động lực có điều khiển.

Phần tử cảm biến dạng màng. Màng áp-điện chất dẻo.

Hình 5.42 trình bày nguyên lý cảm biến màng áp-điện chất dẻo, biến đổi trực tiếp ứng suất cơ thành tín hiệu điện. Bộ cảm biến có ba lớp: lớp màng *polyvinylidene flourid* PVDF nằm giữa lớp nền bằng cao su silicon và lớp ép bằng màng chất dẻo. Khi tác dụng lực, màng PVDF chịu ứng suất và tạo điện tích trên bề mặt. Điện tích thay đổi tạo nên điện áp đầu ra. Biên độ điện áp ra tỷ lệ với lực tác động. Do đó bộ cảm biến loại này chỉ nhạy với sự thay đổi của lực tác động chứ

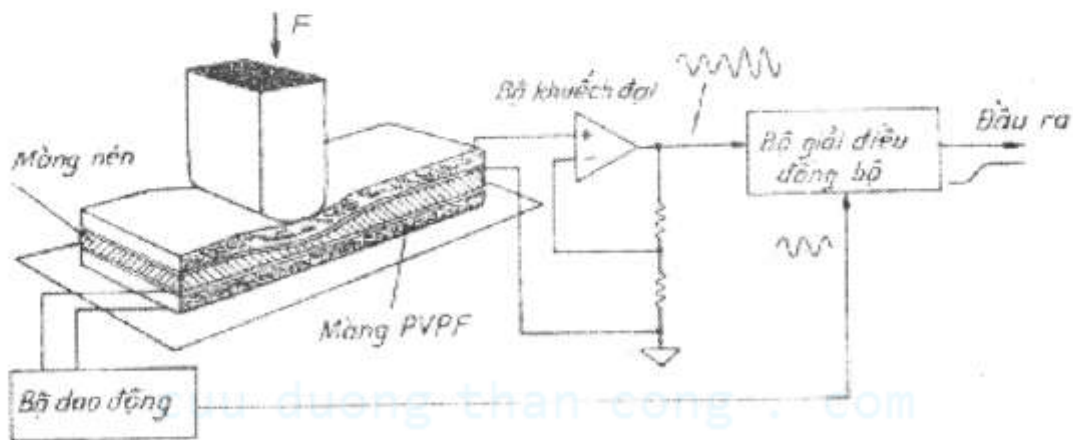
không nhạy với lực tĩnh hằng, thường được dùng trong y tế để chỉ thị trực tiếp nhịp thở.



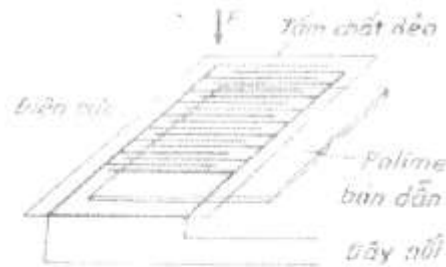
Hình 5.42 – Cảm biến áp-điện đo ứng suất:

a). Phần tử cảm biến; b). Sơ đồ tương đương mạch đo.

Hình 5.43 giới thiệu nguyên lý cảm biến xúc giác bằng màng mỏng áp-điện PVDF có ba lớp: hai lớp ngoài là màng PVDF, lớp giữa là màng nén ghép nối âm thanh với hai lớp kia. Tín hiệu kích thích tạo ứng suất cơ học trong màng nén làm cho màng áp-điện ứng tác như bộ phận thu tín hiệu. Theo hiệu ứng áp-điện, màng trên sinh ra điện áp xoay chiều tỷ lệ với dao động cơ của màng nén. Cảm biến này có thể đo những chuyển vị nhỏ, độ chính xác hơn $\pm 2 [\mu m]$ với tín hiệu đầu vào ở giải tần millimet. Ưu điểm là cấu trúc đơn giản, đáp ứng được cả đối với lực tĩnh.



Hình 5.43 – Cảm biến xúc giác bằng màng mỏng áp-điện.



Hình 5.44 – Cảm biến xúc giác bằng màng polymer bán dẫn.

Dạng màng polymer bán dẫn. Hình 5.44 giới thiệu phần tử cảm biến xúc giác có điện trở thay đổi theo áp suất, khắc phục được nhược điểm của phần tử xúc giác điện-dẫn đã nêu ở mục trên (hình 5.22) về bề dày: bề dày của nó chỉ cỡ 0,25 [mm].

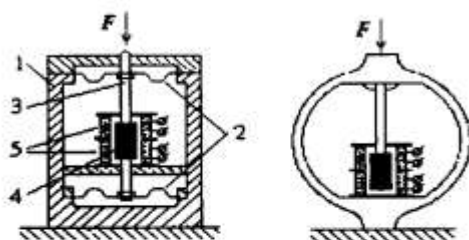
Bảng 5.5 – Phạm vi đo và ứng dụng phần tử cảm biến áp suất bán dẫn piezo.

Phạm vi áp suất, $\times 10^5$ [Pa]	Ứng dụng
< 0,04	Trạng thái đầy trong các máy giặt và máy rửa chén.
0,1	Máy hút bụi, cảnh báo máy lọc, đo thông lượng dòng chảy.
0,2	Đo áp lực máu.
1	Máy đo áp suất barometer, bộ chỉnh đánh lửa và phun dầu
2	Kfz.
10	Kfz (áp lực hút).
50	Kfz (áp suất dầu, áp lực khí nén phanh thắng), máy lạnh.
500	Khí nén, robot công nghiệp. Thủy lực, chế tạo máy.

5.1.3 – Các phần tử cảm biến vật lý khác.

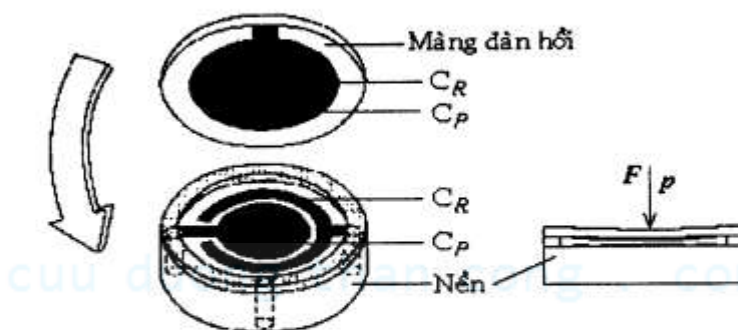
Phần tử cảm biến điện-cảm. Phương pháp đo lực không chỉ theo nguyên lý biến dạng đàn hồi. Hình 5.45 giới thiệu nguyên lý máy đo lực sử dụng phần tử cảm biến điện-cảm có lõi sắt trượt. Nguyên lý phần tử biến cảm này đã nêu ở phần trên (cảm biến tham số). Trong

hình: (1) là vỏ máy, (2) – màng đàn hồi, (3) – thanh nối với lõi sắt (4), (5) – các cuộn cảm vi sai.



Hình 5.45 – Máy đo lực dùng phần tử biến cảm lõi sắt.

Phần tử cảm biến điện-dung kiểu màng rung. Các phương pháp cảm biến điện dung đo áp suất chủ yếu dựa trên cơ sở đánh giá sự thay đổi điện dung giữa một điện cực chuẩn so và một điện cực dạng màng rung. Tùy theo áp suất tác dụng mà khoảng cách giữa điện cực và màng bị thay đổi, do đó mà điện dung của phần tử cảm biến cũng thay đổi tương ứng. Phần tử tích cực ở đây chính là màng rung – một kiểu màng biến dạng đàn hồi. Mặc dù phần tử biến dung màng rung thường có điện dung nhỏ và cả độ thay đổi của nó là rất nhỏ, nhưng bằng cách thiết kế cấu trúc thiết bị đo một cách phù hợp vẫn có thể có được độ phân giải và tính lặp lại các chỉ số đo khá tốt. Các phần tử biến dung vốn dùng đo các chuyển vị (nêu ở chương 4) ở đây dùng đo áp suất trong những điều kiện nhất định sẽ cho những đặc tuyến khá tuyến tính.

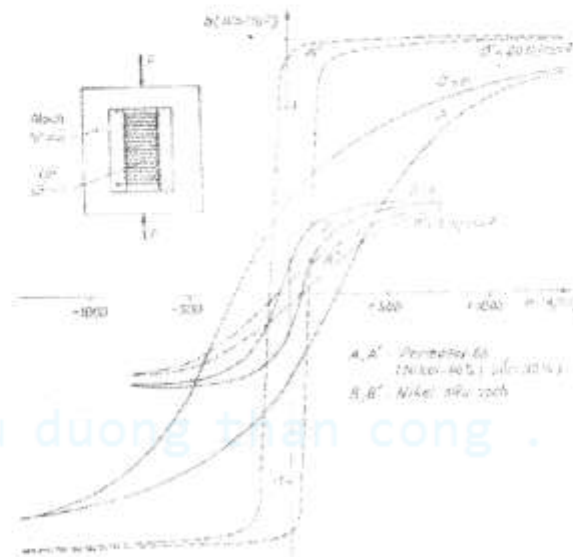


Hình 5.46 – Nguyên lý cấu trúc phần tử biến dung đo áp suất.

Hình 5.46 giới thiệu cấu trúc nguyên lý của một phần tử cảm biến áp suất biến dung hiện đại.

Sự tinh chỉnh từng phần cảm biến riêng lẻ sẽ đạt độ tuyến tính cao hơn 0,5%. Tính phụ thuộc nhiệt độ đạt tới trị số 0,015 [%/°K] trong phạm vi nhiệt độ (-20 ... +70) [°C]. Tùy theo phạm vi đo, độ dày của màng đàn hồi nằm trong khoảng (0,03 ... 3) [mm]. Khoảng cách giữa bản cực chuẩn so và màng đàn hồi cỡ 100 [μm]. Sự chuyển tiếp trạng thái tĩnh tới trạng thái nén làm thay đổi khoảng cách điện cực khoảng một phần tư.

Phần tử cảm biến từ-giảo. Dựa trên hiệu ứng từ-giảo – hiện tượng một vật đặt trong trường từ sẽ chịu tác dụng ứng suất kéo hoặc nén, thay đổi tính chất hình học hoặc tính chất cơ học của một số vật liệu sắt-từ dưới tác động của từ trường. Đối với các chất sắt-từ, khi lực tác dụng đủ lớn thì có thể làm vật biến dạng. Hiệu ứng từ-giảo được ứng dụng trong kỹ thuật để chế tạo các nguồn phát siêu âm; hoặc dùng dòng điện cao tần để sinh ra từ trường biến thiên nhanh gây ra biến dạng cơ học trên một lõi sắt-từ, ở chế độ cộng hưởng cơ học sẽ biến nó thành nguồn phát siêu âm có tần số cho trước.



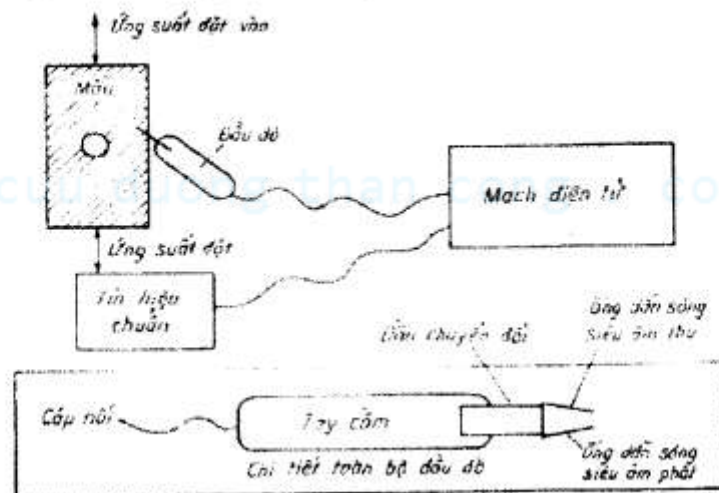
Hình 5.47 – Cảm biến từ giảo: a). Cảm biến;
b). Biến dạng đường cong từ hoá dưới tác dụng lực nén.

Trong cảm biến từ-giảo đo lực (hình 5.47), ứng lực trong vật liệu cảm biến làm thay đổi đường cong từ hoá, do đó có thể xác định lực tác dụng bằng sự biến thiên của độ từ-thẩm hay từ-dư. Sự thay đổi độ từ thẩm μ dưới ảnh hưởng của lực tác dụng làm thay đổi điện cảm L của cuộn dây:

$$\frac{\Delta\mu}{\mu} = -\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta L}{L} = K\sigma; \quad (5.28)$$

ở đây: σ – ứng lực cần đo.

Cảm biến ứng suất siêu âm. Nguyên lý cảm biến ứng suất siêu âm dựa trên hiện tượng vật lý là sự lan truyền sóng âm trong mẫu vật thay đổi khi ứng suất trong mẫu thay đổi.



Hình 5.48 – Cảm biến ứng suất động bằng siêu âm.

Cảm biến vector ứng suất động siêu âm UDVSS *Ultrasonic Dynamic Vector Stress Sensor* dùng đo sự thay đổi ứng suất động có hướng trong vật liệu hay cấu trúc chịu tải trọng chu kỳ (hình 5.48). UDVSS gồm đầu dò, hệ điện tử nối với mẫu đo và nguồn tín hiệu chuẩn. Đầu dò có bộ chuyển đổi, máy phát siêu âm, máy thu, ống dẫn sóng thu phát biến đổi tín hiệu điện thành chuyển động cơ học và ngược lại. Khi đầu dò tiếp xúc với mẫu vật, máy phát siêu âm truyền

sóng âm qua mẫu vật tới máy thu rồi được chuyển đổi thành tín hiệu sóng điện.

Những phát triển mới và triển vọng.

Thiết kế cơ bản của các cảm biến kiểu dây đo biến dạng đo lực, tải trọng, hay trọng lượng không có những thay đổi đáng kể từ những phát triển ban đầu vào những năm 1950. Một vài nhà sản xuất ngày nay đã bổ sung những bộ phận điện tử trong board mạch để chuẩn hoá tín hiệu ngay tại chính cảm biến. Điều này làm tăng chất lượng của cảm biến nói chung và làm giảm giá thành của toàn hệ. Các đầu tín hiệu ra được chuẩn hoá bao gồm cả khả năng lựa chọn tín hiệu ra là tín hiệu điện áp hay dòng.

TEDS – (*Transducer Electronics Data Sheet*) bản dữ liệu biến cảm điện tử – trên cơ sở tiêu chuẩn IEEE P1451 là một tiêu chuẩn nhất thiết, xác định kiến trúc và giao thức đối với việc biên dịch *compiling* và địa chỉ hoá bộ nhớ không đổi *non-volatile* gắn kết bên trong bộ cảm biến đo analog. TEDS cho phép người sử dụng truy cập những thông tin đặc dụng như tên hãng sản xuất, loại cảm biến, số hiệu mẫu *model number*, số hiệu loạt *serial*, và dữ liệu hiệu chuẩn cũng như viết những thông tin như mã danh kênh ID, địa phương, vị trí, hướng, nhãn hiệu *tag number*, vv...

Một số nhà sản xuất cung cấp những cảm biến kèm những tiện ích TEDS với dự định nói chung là làm đơn giản hoá và giảm thiểu thời gian đặt định hiệu chỉnh máy cho người sử dụng và giảm thiểu những sai sót có thể.

Những phát triển trong tương lai đối với các tế bào tải trọng và các cảm biến lực có thể là bao gồm cả công nghệ không dây *wireless technology* để truyền dẫn dữ liệu đã số hoá qua khoảng không gian ngắn. Sự phát triển của công nghệ này đang được xúc tiến. Tuy nhiên, giá thành sẽ là rào cản đầu tiên phải vượt qua. Những phát triển tương lai khác có thể là bù nhiệt độ bằng kỹ thuật số.

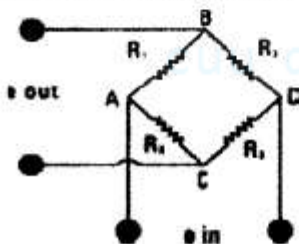
5.1.4 – Mạch cầu đo ứng dụng điển hình và chuẩn hoá tín hiệu.

Mạch cầu đo ứng dụng.

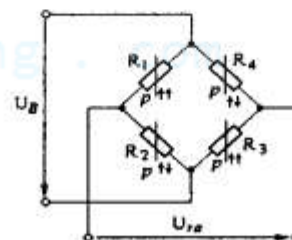
Một điều có liên quan mật thiết tới các dây đo biến dạng là độ chính xác của phép đo điện trở. Nói chung, độ chính xác được gia tăng bằng cách dùng nguồn dòng lớn và tạo ra được những thay đổi điện áp ra lớn. Tuy nhiên, giới hạn thực tế cường độ dòng điện có thể sử dụng nằm trong phạm vi công suất tiêu hao trên phần tử điện trở. Vì lý do đó mà các công nghệ liên kết dây đo biến dạng màng mỏng đã được tối ưu hoá để tăng cường tối đa tính nhiệt dẫn từ màng mỏng tới chất nền. Việc tăng cường nhiệt dẫn cho phép sử dụng dòng điện lớn hơn trong phép đo.

Nhiều dây đo biến dạng, và đặc biệt là các dây đo biến dạng silicon có phụ gia, có tính nhạy cảm với biến động nhiệt độ. Trong vài trường hợp, đó là một hiệu ứng hữu ích – đặc biệt nếu ứng dụng còn đồng thời đo nhiệt độ nữa. Song nói chung, đó không phải là trường hợp phổ biến, do đó cần phải bù trừ độ nhạy nhiệt này. Cách dễ nhất để làm việc đó là chế tạo các điện trở tham chiếu *reference resistors* làm từ cùng loại vật liệu và lắp đặt chúng sao cho chúng không nhạy cảm biến dạng.

Độ lớn thay đổi điện trở của phần tử biến dạng đàn hồi thường được xác định bằng sơ đồ mạch cầu Wheatstone. Có thể dễ dàng bố trí cấu trúc mạch cầu đo để giữ nguyên độ nhạy biến dạng trong khi loại bỏ được tính nhạy nhiệt của chuỗi dây biến dạng. Cách bố trí như vậy là rất quan trọng và dễ thực hiện cho nên rất phổ biến.



Hình 5.49 – Cấu trúc cầu Wheatstone.



Hình 5.50 – Sơ đồ cầu cảm biến điện trở silicon.

Hình 5.49 giới thiệu nguyên lý một mạch cầu đo Wheatstone điển hình cho những ứng dụng này. Các dây đo biến dạng được mắc vào bốn nhánh mạch cầu, hoạt động như mạng điện thêm và bớt (phân áp), cho phép bù trừ các hiệu ứng nhiệt độ cũng như loại bỏ các tín hiệu gây nên bởi những lực ngoài không cơ bản. Cần có điện áp cung cấp một chiều (thường là từ 5 tới 20 VDC) hoặc điện áp xoay chiều AC đưa tới các điểm A và D của cầu. Khi có lực tác dụng lên kết cấu biến cảm, cầu Wheatstone mất cân bằng, tạo điện áp ra giữa các điểm B và C của cầu, tỷ lệ với tải trọng tác dụng.

Hình 5.50 là sơ đồ mạch cầu đo ứng dụng cho các phần tử vi mạch biến trở được mắc vào bốn nhánh cầu đo. Phần tử cảm biến chịu tác động áp suất, sự biến dạng của màng vi mạch làm thay đổi trở kháng của nó, biến đổi điện áp đường chéo cầu thành tín hiệu điện tuyến tính ở đầu ra. Việc định vị các phần tử biến trở được lựa chọn sao cho khi màng bị biến dạng uốn thì hai phần tử biến trở trên hai nhánh đối diện của cầu bị biến dạng ngược hướng.

Các biến trở có trị số như nhau, một cách gần đúng có thể coi điện áp ra bằng:

$$U_{ra} = U_B \cdot \frac{\Delta R}{R_0} + U_0; \quad (5.29)$$

ở đây: U_B – điện áp cung cấp cho cầu; U_0 – điện áp mở.

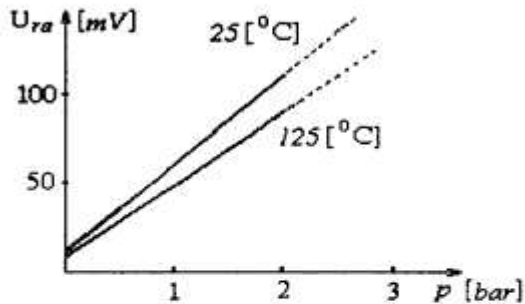
Tỷ số biến thiên điện trở ΔR trên trị số điện trở danh định trước khi biến dạng R_0 được xác định theo biểu thức (5.16):

$$\frac{\Delta R}{R_0} = K \cdot \varepsilon(p);$$

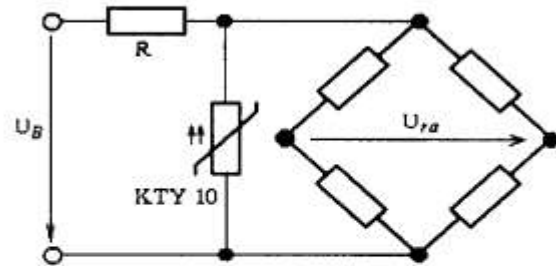
ở đây: K – hệ số tỷ lệ; $\varepsilon(p)$ – độ nén cơ học (hàm của áp suất p).

Độ nén cơ học phụ thuộc tuyến tính với áp suất trong một phạm vi giới hạn. Hình 5.51 là đặc tuyến điện áp đầu ra và ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường xung quanh. Ảnh hưởng nhiệt độ có thể khắc phục

bằng giải pháp mạch (ví như dùng một biến trở nhiệt bán dẫn loạt KTY trong hình 5.52, biến trở nhiệt KTY xem ở chương 3).



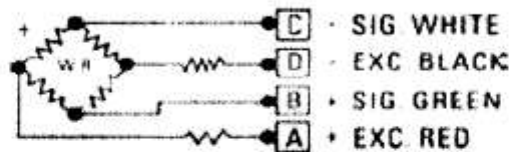
Hình 5.51 – Đặc tuyến điện áp ra và ảnh hưởng nhiệt độ.



Hình 5.52 – Bù nhiệt độ

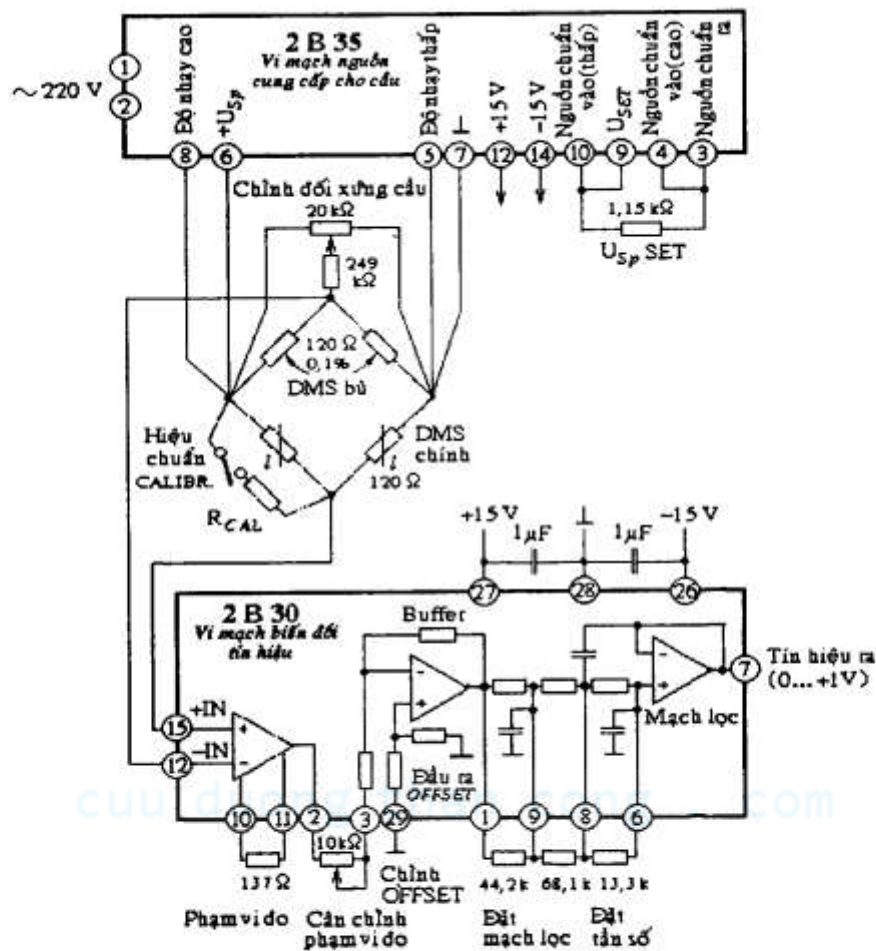
trong phần tử cảm biến áp suất bán dẫn

Trong thực tế ứng dụng, nhất là đối với trường hợp các tế bào tải trọng *load cells* chế xuất công nghiệp, thì thường chúng được bố trí lắp đặt thành mạch cầu đo kết nối với các mạch (ví mạch điện tử) chuẩn hoá tín hiệu ra để có thể đưa tới các bộ phận xử lý hay điều khiển tiếp theo. Các phần tử cảm biến lực dạng tế bào tải trọng này được chế xuất theo mã hoá dây đo của Ủy ban dây đo biến dạng miền Viễn Tây *Western Regional Strain Gage Committee* (đã được sửa đổi tháng Năm 1960). Mã hoá màu dây nối như trong hình 5.46 sau:



Hình 5.53 – Mã màu kết nối điện tiêu chuẩn.

Hình 5.54 giới thiệu một sơ đồ điển hình và đơn giản, tuy nhiên đáp ứng được những yêu cầu kỹ thuật đo khá cao. Sơ đồ mạch cầu gồm một phần tử biến dạng đàn hồi – làm phần tử chính, một cảm biến thứ hai là biến trở bù nhiệt (nhưng không phải chịu tải biến dạng), và hai phần tử biến dạng phụ – có độ chính xác 0,1% trị danh định. Các linh kiện khác trong mạch cầu đảm bảo đối xứng cầu.

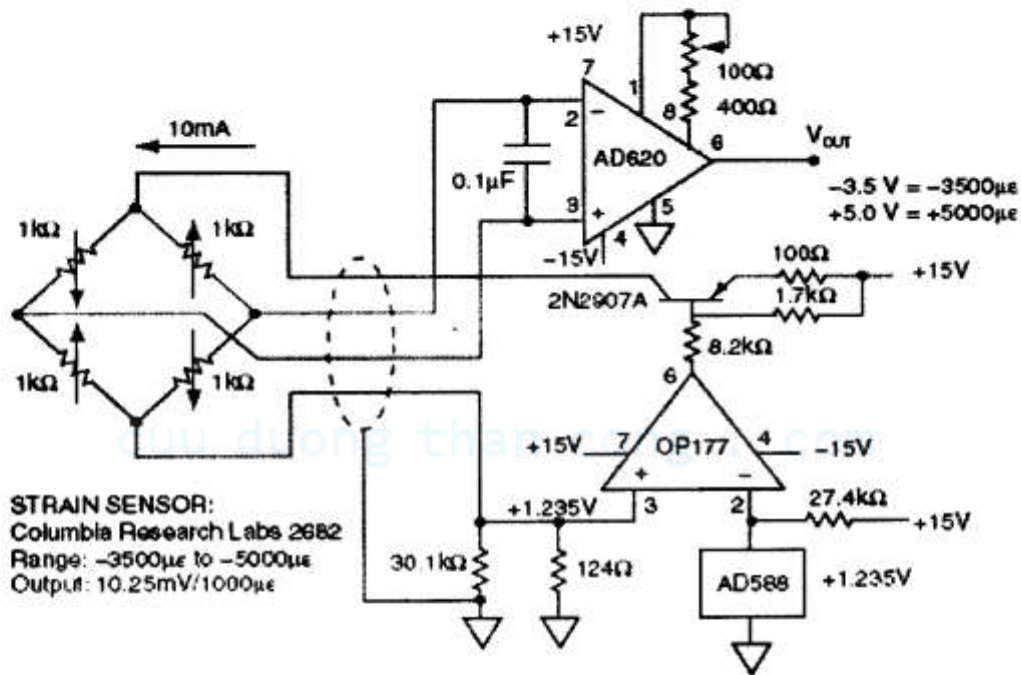


Hình 5.54 – Máy đo biến dạng bằng phần tử biến dạng đàn hồi.

Do những mục tiêu yêu cầu kỹ thuật cao, đối với mạch nguồn cung cấp cho cầu người ta dùng vi mạch nguồn chuyên dụng, có những tính năng tối ưu (ví dụ *Analog Devices 2B35*). Điện áp cầu có thể điều chỉnh được, các thông số kỹ thuật được cho trong thuyết minh kỹ thuật linh kiện của hãng sản xuất. Để giữ cho điện áp cầu là hằng, không đổi bởi ảnh hưởng của dòng tải, mạch dây dẫn áp và dẫn dòng được tách biệt. Việc xác định điện áp đường chéo cầu được thực hiện đơn giản cũng bằng một vi mạch (ví như *Analog Devices 2B30*). Vi mạch này có bộ khuếch đại tín hiệu điều chỉnh được và bộ khuếch đại lọc tần số giới hạn ở 100 [Hz].

Mạch chuẩn hoá tín hiệu cầu đo.

Hình 5.55 minh họa việc chuẩn hoá tín hiệu của mạch cầu đo toàn phần biến thiên, ứng dụng cho máy kiểm tra độ mỏi fatigue monitoring mạch cảm biến biến dạng. Có khả năng thực hiện đo lường và điều khiển từ xa bởi tín hiệu cảm biến ra đã được chuẩn hoá để truyền xa remote sensing.

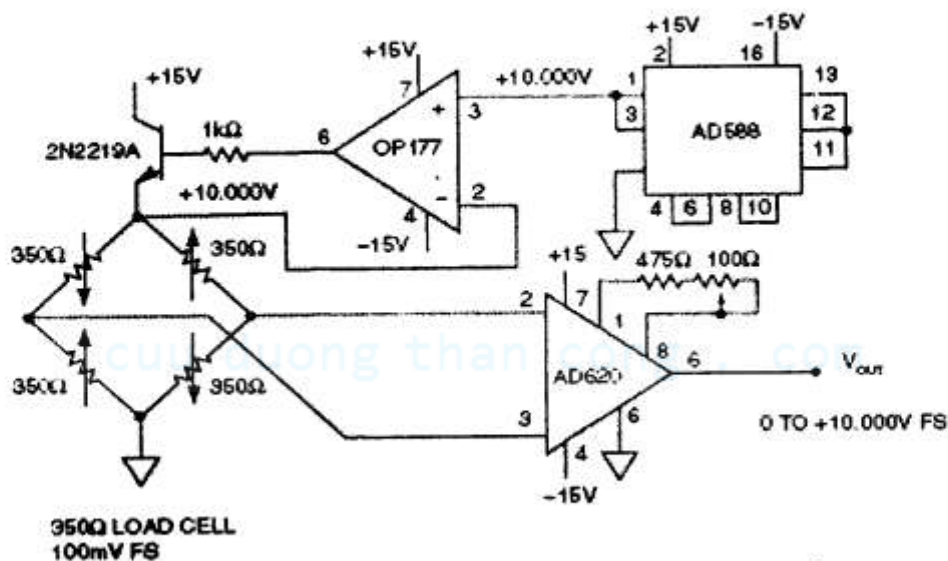


Hình 5.55 – Bộ khuếch đại cảm biến dây đo biến dạng chính xác.

Cầu đo toàn phần là một bộ tích hợp có thể ghép nối với bề mặt cần đo một sự biến dạng hay uốn cong. Nhằm tạo điều kiện cảm biến từ xa, người ta dùng nguồn cung cấp là nguồn dòng. Vì mạch OP177 làm đảo chiều *servos* dòng điện trong mạch cầu tới 10 [mA] quanh điện áp tham chiếu $1,235\text{ [V]}$. Dây đo biến dạng tạo một tín hiệu ra cỡ $10,25\text{ [mV]}/1000\text{ [}\mu\epsilon\text{]}$. Tín hiệu được khuếch đại bởi vi mạch khuếch đại đo lường AD620 được cấu hình với độ khuếch đại 100. Có thể đặt định toàn thang đo điện áp biến dạng bằng cách hiệu chỉnh chiết áp độ khuếch đại $100[\Omega]$ sao cho ứng với độ biến dạng là -

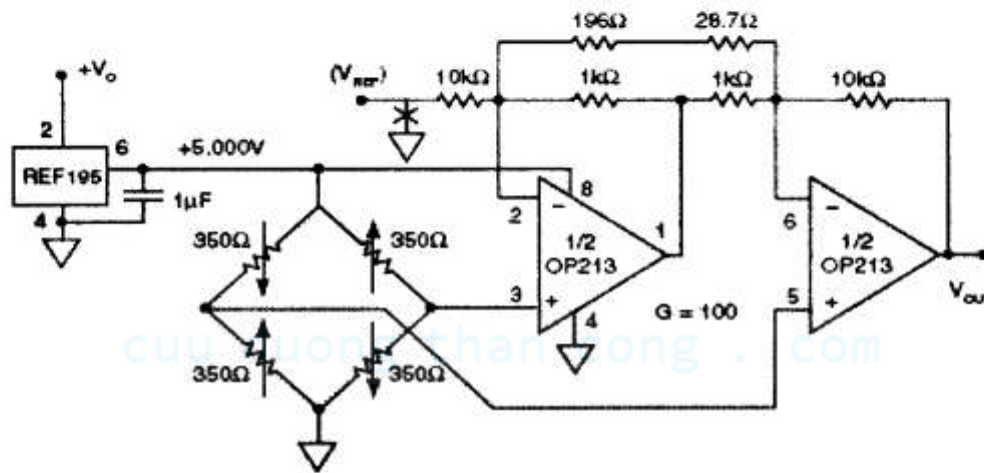
3500[μE], chỉ số đầu ra đọc được là -3,500[V]; và ứng với sự biến dạng +5000[μE], đầu ra ghi nhận +5,000[V]. Khi đó có thể thực hiện số hoá phép đo bằng một bộ chuyển đổi ADC có phạm vi đầu vào toàn thang đo là 10[V]. Một tụ điện 0,1[μF] được mắc qua các chân đầu vào của bộ ADC làm việc như bộ lọc EMI/RFI để kết nối với điện trở cầu 1[k Ω]. Tần số góc của bộ lọc là xấp xỉ 1,6 [kHz].

Một ví dụ khác là mạch khuếch đại tế bào tải trọng giới thiệu trên hình 5.56. Một tế bào tải trọng điển hình có điện trở mạch cầu là 350[Ω]. Một điện áp cung cấp cho cầu 10.000[V] được lấy từ vi mạch nguồn điện áp chính xác AD588 có các vi mạch OP177 và 2N2219A làm bộ đệm. Vi mạch 2N2219A nằm trong mạch phản hồi của OP177 và cung cấp dòng điện cần thiết dẫn động mạch cầu (28,57 [mA]). Để chắc chắn rằng điều này đảm bảo độ tuyến tính, người ta dùng bộ khuếch đại đo lường. Thiết kế này có số lượng tối thiểu các điện trở và khuếch đại có tính quyết định, làm cho toàn mạch đo đảm bảo độ chính xác, độ ổn định và hiệu quả giá thành. Yêu cầu duy nhất là điện trở 475[Ω] và chiết áp 100[Ω] phải có hệ số nhiệt độ thấp, sao cho độ khuếch đại của bộ khuếch đại không bị trôi theo biến động nhiệt độ.



Hình 5.56 – Bộ khuếch đại tế bào tải trọng chính xác.

Như đã nêu ở phần trên, một tế bào tải trọng chính xác thường được kết cấu với mạch cầu $350[\Omega]$. Hình 5.57 giới thiệu một bộ khuếch đại tế bào tải trọng chính xác được cấp nguồn từ một nguồn đơn (đơn cực). Điện áp kích thích tới cầu phải chính xác và ổn định, nếu không sẽ gây ra sai số phép đo. Trong mạch này, vì mạch nguồn tham chiếu $5[V]$ chính xác REF195 được sử dụng dẫn động cầu. Nguồn tham chiếu REF195 có thể cung cấp dòng hơn $30[mA]$ tới tải, nên nó có thể dẫn động mạch cầu 35052 mà không cần bộ khuếch đại đệm.



Hình 5.57 – Bộ khuếch đại tế bào tải trọng dùng nguồn cung cấp cực tính đơn.

Vì mạch kép OP 213 được cấu hình như hai vi mạch khuếch đại thuật toán *op-amp-in-amp* có độ khuếch đại bằng 100. Mạng điện trở đặt định độ khuếch đại G theo công thức:

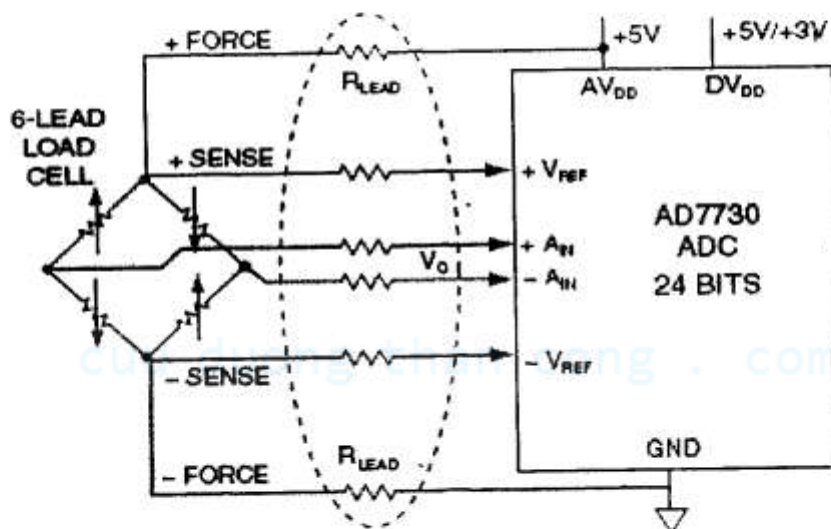
$$G = 1 + \frac{10[k\Omega]}{1[k\Omega]} + \frac{20[k\Omega]}{196[\Omega] + 28,7[\Omega]} = 100.$$

Đối với kiểu mắc mạch thoát đất *rejection* chung tối ưu, tỷ lệ điện trở phải chính xác. Nên dùng các điện trở có độ dung sai cao ($\pm 0,5\%$ hoặc tốt hơn).

Đối với tín hiệu ra của cầu là $0 [V]$, bộ khuếch đại sẽ dao động trong phạm vi $2,5 [mV]$ quanh mức $0[V]$. Đó là giới hạn đầu ra tối thiểu

của OP213. Do đó, nếu đòi hỏi điều chỉnh thiên áp offset, thì việc điều chỉnh nên bắt đầu từ điện áp dương ở V_{REF} và điều chỉnh V_{REF} xuống cho tới điện áp ra (V_{OUT}) ngừng biến động thay đổi. Đó là điểm giới hạn khuếch đại dao động. Bởi thiết kế là nguồn cung cấp đơn, bộ khuếch đại không thể nhạy cảm với những tín hiệu có cực tính âm. Nếu đòi hỏi độ tuyến tính đầu vào ở 0 [V], hoặc nếu phải xử lý tín hiệu cực tính âm, thì V_{REF} có thể nối vào điểm giữa điện áp (2,5[V]) hơn là nối vào điểm đất. Lưu ý rằng khi V_{REF} không nối đất thì đầu ra phải tham chiếu tới V_{REF} .

Trong việc số hoá tín hiệu thì bộ chuyển đổi ADC sigma-delta 24-bit kiểu AD7730 là lý tưởng để chuẩn hoá tín hiệu trực tiếp từ đầu ra của cầu đo và không đòi hỏi phải có mạch giao diện. Hình 5.58 trình bày sơ đồ kết nối đơn giản nhất. Toàn mạch hoạt động ở nguồn cung cấp đơn +5[V], cũng dùng làm điện áp kích thích cầu. Lưu ý rằng phép đo là tỷ lệ *ratiometric* bởi điện áp kích thích cầu cảm biến cũng dùng làm nguồn tham chiếu của chuyển đổi ADC. Những biến động trong nguồn +5[V] không ảnh hưởng tới độ chính xác phép đo.



Hình 5.58 – Ứng dụng tế bào tải trọng dùng chuyển đổi AD7730.

Vi mạch AD7730 có bộ khuếch đại trong lập trình độ khuếch đại được, cho phép tín hiệu ra toàn thang đo của cầu $\pm 10[V]$ có thể số hoá thành độ chính xác 16-bit. AD7730 có các tiện ích tự thân và hệ hiệu chuẩn, cho phép giảm thiểu các sai số định thiên *offset* và sai số độ khuếch đại *gain* bằng cách tái hiệu chuẩn định kỳ. Tùy chọn *option* kiểu “chop” làm giảm điện áp định thiên và độ trôi, hoạt động tương tự như một bộ khuếch đại ổn định kiểu chopper. Điện áp nhiễu hiệu dụng đầu vào RTI xấp xỉ cỡ 40 [nV] hiệu dụng *rms*, hoặc 264 [nV] đỉnh-đỉnh. Điều này tương ứng với độ phân giải cỡ 13 [ppm], hoặc xấp xỉ 16,5-bits. Độ tuyến tính khuếch đại cũng xấp xỉ 16-bit. Bảng 5.6 nêu các thông số chế độ chuyển đổi ADC AC7730 làm việc với mạng tế bào tải trọng 6 dây.

Bảng 5.6 – Chế độ vận hành AC7730 chuyển đổi ADC tế bào tải trọng.

Giả thiết		Thực hiện	
Tín hiệu ra toàn thang đo	± 10 mV, k.thích +5 V	Nhiều RTI	40 nV rms, 264 nVp-p
Kiểu “chop”	Được kích hoạt	Độ phân giải không nhiễu	80,000 điểm (16.5 bits)
Hiệu chuẩn hệ	Zero và toàn thang đo	Độ phi tuyến khuếch đại	18ppm
		Độ chính xác khuếch đại	< 1 μ V
		Điện áp offset	<1 μ V
		Độ trôi offset	0.5 μ V/° C
		Độ trôi khuếch đại	2 ppm/° C
Lưu ý: Độ trôi khuếch đại và độ trôi offset có thể gỡ bỏ được bằng hệ tái hiệu chuẩn.			



cuu duong than cong . com

BÀI 8

KỸ THUẬT CẢM BIẾN ÁP SUẤT.

Chương 5. – CẢM BIẾN ĐO LỰC VÀ TÁC DỤNG LỰC.

PHẦN 2.

Mục tiêu bài này tập trung vào những khái niệm cơ bản và kỹ thuật cảm biến lực (phần 1) và tác dụng lực: áp suất, ứng suất (phần 2); các ứng dụng trong kỹ thuật đo lường và điều khiển – gồm 2 phần của chương 5.

Nội dung cơ bản mà SV phải nắm được ở bài này là những vấn đề trọng tâm sau:

- Khái niệm đại cương về lực, tác dụng lực: ứng suất và áp suất; và những đặc điểm xác định chúng. Các loại phần tử cảm biến áp suất ứng dụng trong kỹ thuật đo lường điều khiển, kết cấu, hoạt động chức năng, các đặc tính kỹ thuật, đặc điểm ứng dụng.
- Các vấn đề ứng dụng thực tiễn các phần tử cảm biến trong công nghiệp để có nhận thức và kỹ năng tổng hợp, thiết kế và chế tạo hệ thống cụ thể trong thực tế môi trường ứng dụng.
- Bài 8 tập trung trọng tâm là kỹ thuật cảm biến ứng suất và áp suất (phần 2) bằng các phần tử cảm biến ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp và dân dụng.

Thời lượng bài giảng là 04 tiết/45 tiết lên lớp theo chương trình môn học là 03TC (45 tiết) và 04 tiết tự nghiên cứu.

5.2 CẢM BIẾN ĐO ÁP SUẤT.

Khái niệm chung.

Các cảm biến đo áp suất chuyển đổi áp suất đầu vào thành tín hiệu điện đầu ra để đo áp suất, lực và lưu lượng chất lỏng, chất khí

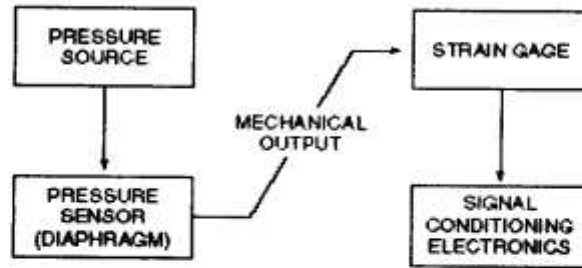
(lưu chất). Những phép đo này được dùng để điều khiển nhiều thứ, từ mức nước trong máy giặt đến các chất khí thoát ở hệ khí thải xe ô tô. Các cảm biến áp suất được sử dụng trong các thiết bị y tế để kiểm tra huyết áp, thính giác và thị giác, cả bệnh tăng nhãn áp *glaucoma*. Trong các ngành công nghiệp chế tạo và chế biến, người ta dựa vào các cảm biến áp suất để điều khiển các máy móc công nghệ. Chúng là những phần tử thiết yếu đối với việc vận hành các hệ HVAC, các xe nâng tải tự dỡ hàng, máy xúc. Chúng đo độ cao và độ vẩn đục *turbidity* trong hàng không và là một phương tiện quan trọng của các máy ghi dữ liệu bay nhất thiết phải có trên mọi chuyến bay thương mại.

Ở nơi nào có nhu cầu điều khiển chính xác áp suất, lực và lưu lượng lưu chất, thì có khả năng phải ứng dụng cảm biến áp suất. Các cảm biến áp suất ngày nay cung cấp tính năng lặp lại các đặc tính kỹ thuật ở mức độ cao, có độ trễ thấp, và độ ổn định lâu bền trong các ứng dụng với phạm vi áp suất đầu vào từ cỡ nhỏ hơn một pound trên một inch vuông áp suất (*pounds per square inch gauge* – ở đây ký hiệu là đơn vị áp suất [*psig*]) cho tới hàng ngàn *psig*.

Áp suất được đo theo phương pháp điện bằng các biến cảm áp suất khác nhau. Tồn tại các chuyển đổi cơ học đa dạng (kể cả màng ngăn *diaphragms*, hộp kín *capsules*, ống xếp *bellows*, ống manometer, và ống Bourdon) dùng đo áp suất bằng cách đo kết hợp chiều dài, khoảng cách, hay chuyển dịch, và đo những thay đổi áp suất bằng cách tạo chuyển động.

Hình 5.59 cho sơ đồ tổng quát các phương pháp cảm biến đo áp suất, ở đây đặc trưng cảm biến áp suất dạng màng ngăn. Khi đó, tín hiệu đầu ra của các giao diện này được đưa tới một bộ chuyển đổi như dây đo biến dạng *Strain Gauge* hay bộ biến trở áp-điện *Piezoelectric Transducers*. Đầu ra được chuyển đổi thành tín hiệu điện và chuẩn hoá bằng mạch điện tử *signal conditioning*. Không như dây đo biến dạng, các biến cảm áp-điện được sử dụng điển hình cho các phép đo áp suất

tần suất cao (chẳng hạn như các ứng dụng định vị bằng âm thanh *sonar* hay microphone tinh thể).



Hình 5.59 – Cảm biến đo áp suất.

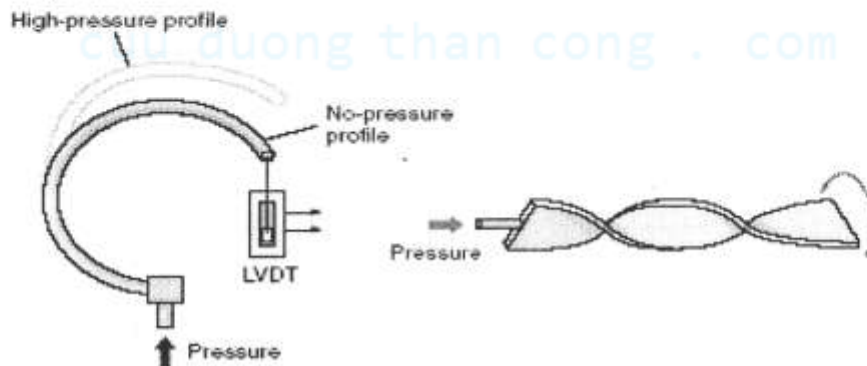
Áp suất được định nghĩa như là lực trên một đơn vị diện tích mà một vật tác dụng lên vật khác. Ví dụ, có một khối vuông 10[*lb*] nằm trên bàn. Nếu diện tích mỗi mặt khối là 4[*in.*²], thì 10[*lb*] sẽ phân bố trên diện tích 4[*in.*²], nên khối vuông tác dụng lên bàn một áp suất 2,5 [*lb/in.*²] (hay 2,5 [*psi*]). Trong hệ đơn vị SI, áp suất được tính bằng newton trên met vuông ([*N/m*²]), gọi là Pascal ([*Pa*]). Đối với chất lỏng, áp suất tác dụng lên các thành bên của bể chứa cũng như lên đáy bể. Cảm biến áp suất thường gồm hai phần: bộ phận đầu chuyển đổi áp suất thành lực hay dịch chuyển, còn bộ phận thứ hai chuyển đổi lực hay dịch chuyển đó thành tín hiệu điện. Các phép đo áp suất chỉ được thực hiện với các chất lỏng hay chất khí (lưu chất). Phép đo áp suất đơn giản nhất sẽ cho một áp suất áp kế *gauge pressure*, là hiệu số giữa áp suất đo được và áp suất môi trường. Ở mức nước biển, áp suất môi trường bằng áp suất khí quyển, được thừa nhận là bằng 14,7 [*psi*], hoặc là 101,3 [*kPa*]. Cảm biến phức hợp hơn một chút có thể đo áp suất vi sai – hiệu số áp suất ở hai điểm mà không điểm nào cần đo áp suất khí quyển. Dạng cảm biến áp suất thứ ba đo áp suất tuyệt đối, được đo bằng một cảm biến áp suất vi sai mà một bên được tham chiếu với 0 [*psi*] (gần với chân không tuyệt đối).

Ở đây chúng ta khảo sát hai dạng cảm biến áp suất thông dụng nhất hiện nay, đó là các cảm biến bán dẫn silicon và cảm biến điện trở áp điện với sự đa dạng kết cấu công nghệ lẫn những đặc tính kỹ thuật

khác nhau của chúng. Nhưng trước tiên cũng nên khảo sát hai dạng cảm biến đo áp suất vẫn còn thông dụng đến nay trong các hệ đo lường điều khiển, bởi kết cấu đơn giản và vận hành hiệu quả: đó là áp kế dạng ống Bourdon và dạng ống xếp.

Dạng ống Bourdon.

Ống Bourdon là một ống cong ngắn, một đầu bịt kín. Khi ống bị tác dụng áp suất, nó có xu hướng duỗi thẳng ra. Chuyển động này tỷ lệ với áp suất tác dụng. Hình 5.60 minh họa vài cấu trúc ống Bourdon (dạng uốn và dạng xoắn). Hãy lưu ý rằng sự dịch chuyển có thể là chuyển động thẳng hay chuyển động góc quay. Một cảm biến vị trí như chiết áp biến trở con trượt pot (*potentiometers*) hoặc biến trở màng mỏng LVDT (xem phần sau) có thể chuyển đổi sự dịch chuyển này thành tín hiệu điện. Các cảm biến dạng ống Bourdon sẵn có với phạm vi đo từ 30 đến 100.000 [psi]. Các ứng dụng điển hình là các đầu đo áp suất hơi hay áp suất nước.

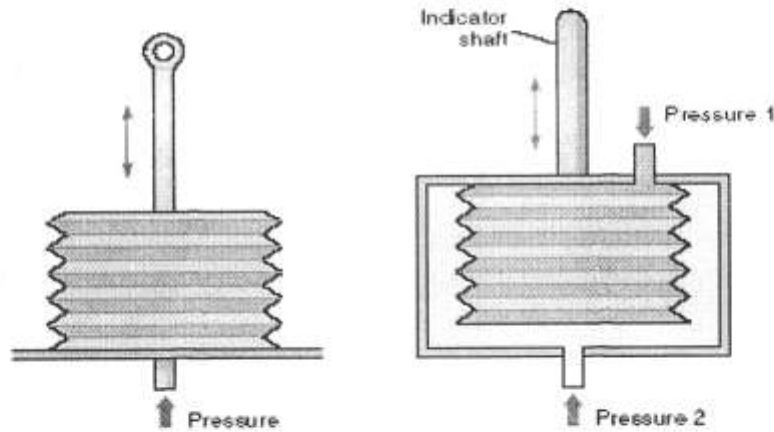


Hình 5.60 – Cảm biến dạng ống Bourdon: a). Dạng uốn "Unbend"; b). Dạng xoắn "Untwist".

Dạng ống xếp Bellows.

Cảm biến này dùng một ống xếp kim loại nhỏ để chuyển đổi áp suất thành chuyển động thẳng (hình 5.61a). Khi áp suất bên trong tăng lên, ống xếp giãn ra chống lại kháng lực của lò xo (thường thì lò xo chính là các nếp gấp của ống xếp). Chuyển động này được phát hiện bằng một cảm biến vị trí (ví như biến trở con trượt pot). Hình 5.61b

minh họa một cảm biến áp suất vi sai, có thể được chế tạo bằng cách ghép một ống xếp với một bình chứa. Ở đây áp suất từ bên ngoài ống xếp (áp suất 2) có xu hướng làm ống xếp bị nén, trong khi áp suất 1 lại có xu hướng làm ống xếp giãn ra. Vị trí của hình gập là hàm của hiệu số áp suất bên trong và bên ngoài ống xếp. Các ống xếp có độ nhạy lớn hơn các ống Bourdon ở phạm vi áp suất thấp cỡ 0 – 30 [psi].



Hình 5.61 – Cảm biến dạng ống xếp: a). Kiểu áp suất đơn;
b). Kiểu áp suất vi sai.

5.2.1 Cảm biến áp suất kiểu điện trở bán dẫn silicon.

Cơ sở công nghệ chế tạo. Ngày nay phần lớn các cảm biến đo áp suất, lực và đo lưu lượng lưu chất được chế tạo bằng cách dùng kỹ nghệ silicon trong công nghiệp chế tạo chất bán dẫn. Do đó, nhiều thuật ngữ dùng trong công nghệ chất bán dẫn cũng được dùng cho công nghệ cảm biến áp suất. Hơn nữa, ngày nay công nghệ các hệ vi cơ-điện tử MEMS (*microelectromechanical systems*) đang phát triển theo hướng này.

Công nghệ cấy ion bán dẫn điện trở áp-điện chiếm lĩnh thị phần linh kiện cảm biến áp suất với nhiều lý do tích cực. Những cách tiếp cận khác, kể cả biến trở từ *variable reluctance*, tụ biến dung, sợi quang và điện dẫn áp-điện, cũng sẵn có thị phần ứng dụng. Tuy nhiên,

ở đây chúng ta chủ yếu chú trọng cảm biến áp suất áp-điện trên nền công nghệ silicon.

Các cảm biến áp suất áp-điện (cảm biến dây đo biến dạng) thường được tham chiếu đến như các cảm biến dạng vi mạch IC (*integrated circuit*), cảm biến chất rắn thể cứng *solid-state*, cảm biến đơn tinh thể (được hình thành từ chất silicon đơn tinh thể) hay chính là cảm biến silicon. Chúng được chế xuất ở dạng nguyên liệu *wafer*, mỗi *wafer* gồm vài trăm tới vài ngàn lạng kết *die*, tùy theo kích cỡ khuôn mẫu lạng kết cảm biến. Một chip vi mạch cảm biến điển hình có kích thước 80x80 mils hay 2mmx2mm. Các cảm biến áp suất áp-điện (silicon) bao gồm một phần tử cảm biến làm từ chip vi mạch silicon với một màng ngăn *diaphragm silicon* mỏng cong và bốn điện trở áp-điện (đó gần như là các điện trở thể cứng được cấy ghép lên bề mặt chất silicon).

Các điện trở áp-điện của chất bán dẫn có xu hướng thay đổi điện trở gây ra bởi sự biến dạng khi có áp suất hay có lực tác động lên màng ngăn. Áp suất làm màng ngăn bị uốn cong, tạo ra một ứng suất trong màng và vậy là cũng tác động lên các điện trở cấy ghép. Sự thay đổi trị số điện trở phụ thuộc vào độ lớn áp lực cung cấp cho màng ngăn. Như vậy, sự thay đổi trong áp suất (tác động cơ đầu vào) được chuyển đổi thành sự thay đổi điện trở (tín hiệu điện đầu ra). Phần tử cảm biến chuyển đổi hay biến cảm năng lượng từ dạng này sang dạng khác, vì vậy có thuật ngữ “biến cảm áp suất *pressure transducer*”. Các cảm biến áp suất được chế tạo bằng cách thoát tiên cấy ion bốn điện trở áp-điện vào chất silicon. Việc cấy ghép ion được tăng cường sử dụng nhằm cung cấp tính năng hoạt động cao hơn so với các cảm biến chế xuất theo công nghệ khuyếch tán.

Sau khi bốn điện trở áp-điện đã hình thành, màng ngăn được tạo ra bằng cách chạm khắc điện hoá một hình mẫu có thể điều chỉnh được lên chất silicon từ mặt sau của nó (trên bề mặt đối diện với các điện trở áp-điện). Phần không khắc hình trên miếng silicon cung cấp một

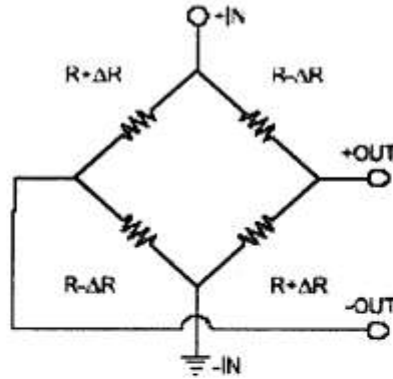
đường biên, giới hạn ghép nối cứng cho màng ngăn và tạo bề mặt lắp ráp nó vào một vật thể thành phần nào đó khác.

Độ dày của màng ngăn xác định phạm vi áp suất (độ nhạy) của cảm biến. Tuy nhiên, quan hệ đó là hàm không tuyến tính. Ví dụ, nếu tăng gấp đôi độ dày của màng ngăn sẽ làm giảm độ nhạy đi bốn lần. Bề dày điển hình của màng ngăn là cỡ 5 tới 200 micron (một màng khá mỏng), tùy theo phạm vi áp suất của nó. Quá áp *overpressure* là thuật ngữ dùng để đặc trưng áp suất tối đa có thể cung cấp cho phần tử cảm biến mà không gây nên những thay đổi vĩnh viễn các đặc tính ra của nó.

Độ nhạy (hay hệ số dây đo *gauge factor*) của một dây đo biến dạng silicon là khá cao, gấp khoảng 100 lần độ nhạy của dây đo biến dạng kim loại.

Bằng cách cấy ghép các điện trở áp-điện vào môi trường chất silicon đơn tinh thể thuần nhất, chúng được tích hợp thành một phần tử cảm biến lực silicon.

Một cách điển hình, các kiểu dây đo biến dạng có bản chất vật liệu khác nhau được ghép lại thành các thành phần cảm biến lực, thu được trong biến dạng nhiệt đàn hồi và trong các quá trình chế tạo phức hợp. Trong đó, nhiều dây đo riêng lẻ vốn không ổn định bởi mối ghép kém phẩm chất, có tính nhạy nhiệt và tính trễ gây nên bởi sự biến dạng nhiệt đàn hồi. Các cảm biến áp suất kiểu màng ngăn silicon là loại cực kỳ an toàn tin cậy đảm bảo chắc chắn, bởi vì silicon là vật liệu lý tưởng tiếp nhận lực tác dụng, và các dây đo được cấy ghép theo công nghệ cấy ghép ion như vậy không bị ảnh hưởng của mối lắp ghép.



Hình 5.62 – Mạch mạch cảm biến áp suất silicon.

Như một tinh thể đàn hồi hoàn hảo, silicon không trở nên vĩnh viễn bị dãn ép mà trở lại hình thù ban đầu của nó. Các khối liệu wafers silicon tốt hơn kim loại để làm các màng ngăn cảm biến, bởi silicon có tính đàn hồi cực kỳ tốt trong phạm vi hoạt động của nó. Thông thường màng ngăn silicon chỉ sai hỏng bởi gãy đứt, thường là vì bị quá áp suất quá lớn. Ngày nay, công nghệ chế tạo vi cơ và kỹ thuật tinh chỉnh laser sẽ giúp công nghiệp chế tạo các cảm biến an toàn tin cậy có tính năng độ chính xác cực kỳ cao.

Các điện trở cảm biến có thể được kết nối hoặc vào một mạch cầu nửa hoặc mạch cầu toàn phần kiểu cầu Wheatstone, trong đó hai điện trở tăng trị số với áp suất dương trong khi hai điện trở kia giảm trị số của chúng. Khi áp suất cung cấp lên dụng cụ như trong hình 5.62, các điện trở trong các nhánh cầu sẽ thay đổi một lượng bằng ΔR . Sự định hướng điện trở song hành trên nền silicon sẽ xác định liệu điện trở sẽ tăng hay giảm trị số khi tác dụng áp suất.

Điện áp vi sai đầu ra V_{out} , như dễ thấy từ hình 5.62, sẽ bằng:

$$V_{out} = V_B \cdot \frac{\Delta R}{R}; \quad (5.28)$$

ở đây V_B là điện áp cung cấp cho mạch cầu (*Bridge*).

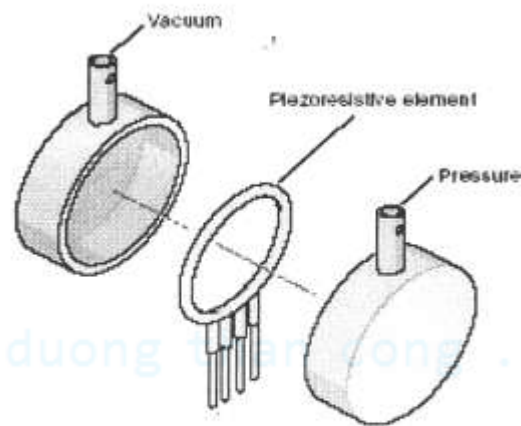
Bởi vì sự thay đổi điện trở tỷ lệ thuận với áp suất, có thể tính điện áp ra V_{out} của cầu bằng:

$$V_{out} = (S + P + V_B) \pm V_{off}; \quad (5.29)$$

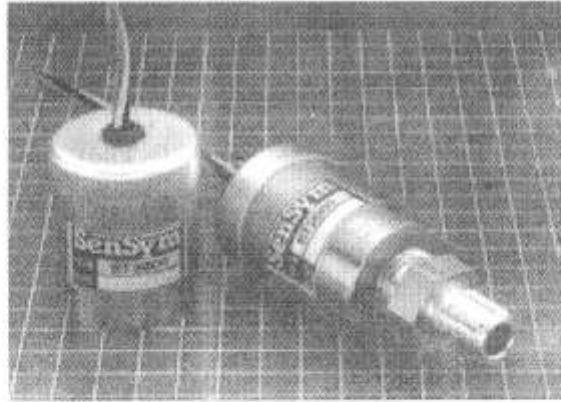
ở đây V_{out} là điện áp ra, tính bằng $[mV]$; S là độ nhạy, tính bằng $[mV/V]$ ứng với mỗi $[psi]$; P là áp suất, tính bằng $[psi]$; V_B là điện áp cung cấp cho cầu, tính bằng $[V]$; V_{off} là sai số định thiên offset (điện áp vi sai đầu ra khi áp suất cung cấp bằng 0).

Tuy nhiên, tín hiệu đầu ra vi sai của một cảm biến áp suất “thô” là không chính xác theo nghĩa hiệu chuẩn và các hiệu ứng nhiệt độ. Đó một phần là do các nhà sản xuất cảm biến chào hàng một loạt các cảm biến có mức độ chuẩn hoá tín hiệu khác nhau trên cơ sở trạng thái thô của chúng, cho tới những bộ truyền phát so bù và hiệu chuẩn hoàn chỉnh với các đầu ra được khuếch đại và các vi mạch tích hợp chuyên dụng ASIC (*Application-Specific Integrated Circuits*).

Một số cảm biến áp suất thương mại sẵn có sử dụng tính chất trở kháng áp-điện của silicon (hình 5.63). Phần tử điện trở áp-điện chuyển đổi trực tiếp áp suất thành điện trở, và điện trở có thể được chuyển đổi thành điện áp. Những cảm biến này có ưu điểm “không có bộ phận động” và có sẵn với phạm vi áp suất từ 0–15 $[psi]$ tới 0-5000 $[psi]$.



Hình 5.63 – Cảm biến áp suất bán dẫn.



Hình 5.64 – Cảm biến áp suất bán dẫn ST2000
(Courtesy of SenSym Inc.).

Một ví dụ cảm biến áp suất bán dẫn thương mại là loạt ST2000 của hãng SenSym Inc. (hình 5.64). Có thể dùng khối đo này cho chất lỏng hay chất khí, có bộ khuếch đại trong, cho điện áp ra tỷ lệ thuận với áp suất tuyệt đối.

Phân loại cảm biến đo áp suất. Như đã nêu ở phần trên khi đề cập tới những kiểu dạng cảm biến đo lực (mục 5.1.2), có một phần lớn dành cho các phần tử cảm biến lực biến dạng đàn hồi bán dẫn dựa trên nền chất liệu silicon (xem thêm hình 5.26). Ở đây chúng ta đi sâu hơn vào những khía cạnh ứng dụng đo áp suất.

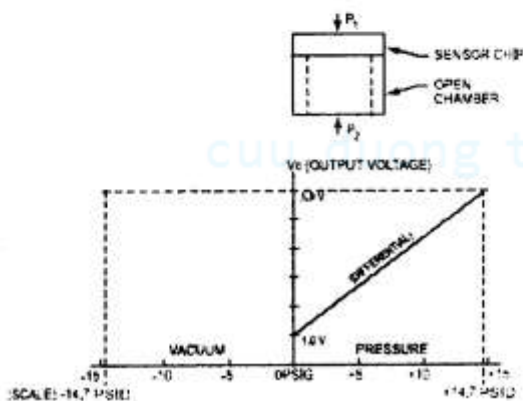
Các cảm biến áp suất được xếp hạng tiêu chuẩn, theo loại áp suất mà chúng đo. Phần lớn cảm biến được chào hàng như chế phẩm sản xuất loạt với liệt kê khác nhau để đo các loại áp suất khác nhau: áp suất áp kế, áp kế vi sai, áp kế tuyệt đối, hay áp kế chân không. Nhiều người đã quen với cách trao đổi đầu đo áp suất áp kế *gauge pressure* – đó là áp suất tương đối so với áp suất khí quyển bình thường quanh ta. Như vậy có thể bị lẫn lộn giữa áp suất tuyệt đối và cảm biến đo áp suất tuyệt đối, vốn đo áp suất tương quan với chân không tuyệt đối, với đầu đo áp suất thông thường, đo áp suất tương đối so với áp suất khí quyển. Bởi vì áp suất 0 tuyệt đối của chân không tuyệt đối vốn không thể đạt tới, phép đo áp suất tuyệt đối khó khăn hơn nhiều.

Sẽ dễ hiểu hơn về phép đo áp suất tuyệt đối, một khi đã hiểu biết về các đầu đo áp suất và áp suất vi sai, vốn quen thuộc hơn với mọi người (xem thêm hình .

Áp suất vi sai là sự sai biệt về áp suất giữa hai nguồn áp suất – nói ví dụ, đo hai nguồn áp suất để xác định trạng thái của một bộ lọc. Dạng phép đo áp suất này thường được thể hiện ở dạng pound trên inch vuông vi sai (ở đây ký hiệu đơn vị áp suất vi sai là *[psid]* – *pounds per square inch differential*).

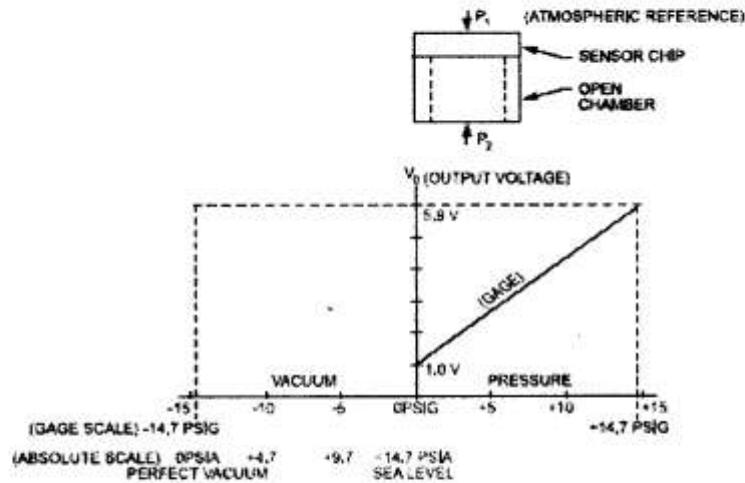
Các cảm biến áp suất vi sai được thiết kế để đồng thời tiếp nhận hai nguồn áp suất độc lập, cho nên chúng có hai cổng áp suất. Đầu ra tỷ lệ với áp suất vi sai giữa hai nguồn, cho nên ta có thể dùng đầu ra này để xác định liệu bộ lọc có cần phải làm sạch hay phải thay thế hoàn toàn. Các cảm biến áp suất vi sai hai hướng là những cảm biến áp suất vi sai cho phép áp suất đầu vào lớn hơn đưa tới cổng áp suất nào cũng được.

Trong cảm biến áp suất vi sai giới thiệu trên hình 5.65, đại lượng cần đo (các thông số vật lý được định lượng bằng phép đo) được cung cấp tới cả hai cổng. Khi một trong số hai nguồn áp suất là áp suất môi trường, thì đó gọi là áp kế *gauge pressure*. Do đó, áp kế là một dạng phép đo áp suất vi sai mà trong đó áp suất khí quyển được dùng làm tham chiếu. Phép đo áp suất lốp bánh xe (ôtô, xe máy), khi cần một áp suất lớn hơn áp suất khí quyển để cho lốp xe giữ được tính năng hoạt động của nó, là một ví dụ.



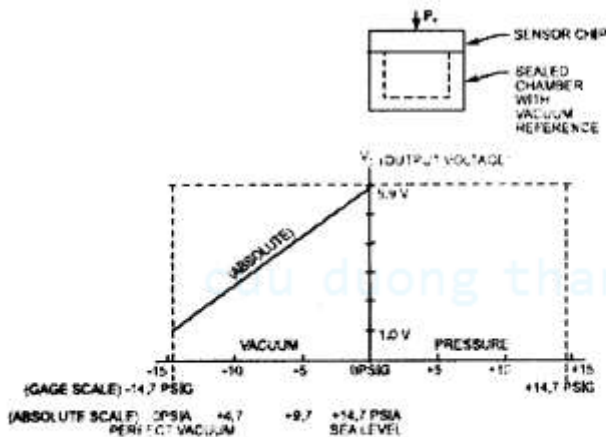
Hình 5.65 – Nguyên lý cảm biến áp suất vi sai và tín hiệu ra chuẩn hoá. (Tín hiệu ra 1 V sẽ xuất hiện khi áp suất ở cả hai cổng bằng nhau).

Với dụng cụ đo áp kế, như vẽ trong hình 5.66, cổng P1 thông cho áp suất khí quyển, và đại lượng cần đo được đưa vào cổng P2. Tín hiệu ra 1 [V] biểu thị áp suất môi trường.



Hình 5.66 – Đầu ra cảm biến áp kế mức cao.

Áp suất tuyệt đối được đo với tham chiếu tới chân không. Các cảm biến áp suất tuyệt đối thường dùng để đo những thay đổi áp suất trong khí áp kế barometer hoặc như trong máy đo độ cao altimeter. Những ứng dụng này đòi hỏi tham chiếu tới một áp suất cố định, bởi chúng không thể đơn giản tham chiếu tới áp suất môi trường chung quanh.



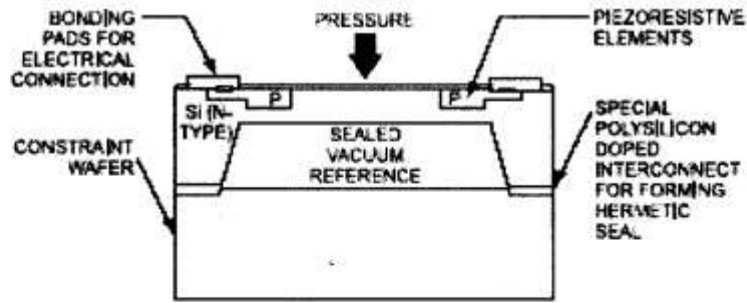
Hình 5.67 – Tín hiệu ra của cảm biến áp suất tuyệt đối đã được chuẩn hoá.

Các cảm biến áp suất tuyệt đối phải đo áp suất đầu vào tương quan với áp suất zero (hoàn toàn chân không ở một phía màng ngăn). Ví dụ, 10 pound trên một inch vuông tuyệt đối (ở đây dùng đơn vị áp suất tuyệt đối là *[psia]*) sẽ bằng 10 *[psi]* trên chân không tuyệt đối. Đó là khoảng chừng 4,7 *[psi]* thấp hơn áp suất khí quyển tiêu chuẩn ở mức nước biển (là 14,7 *[psi]*). Khi đó, '0 psi' là áp suất chân không tuyệt đối.

Trong cảm biến áp suất tuyệt đối hình 5.67, cổng P2 được dành cho chân không, biểu thị một nguồn tham chiếu cố định. Sai biệt áp suất giữa chân không tham chiếu và áp suất cần đo đưa vào cổng P1 làm lệch màng ngăn, tạo nên sự thay đổi điện áp ra. Tín hiệu ra 1[V] biểu thị chân không tuyệt đối.

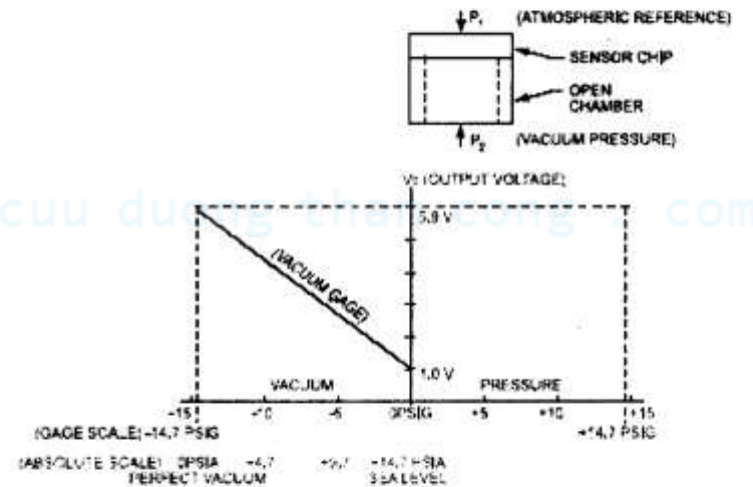
Các cảm biến áp suất tuyệt đối có hộp bọc kín chân không tham chiếu trong phần tử cảm biến, có thể được chế tạo bằng cách bịt kín một hộp chân không tham chiếu vào một bên của phần tử cảm biến (hình 5.68, xem thêm hình 5.26). Khi đó, các áp suất được đo đối với tham chiếu chân không đó. "Chân không" thực sự, mà được bịt kín bên trong cảm biến, là khoảng 0,0005 *[psi]* (25 *[millitor]*). Nếu không khí bị bẫy trong hộp kín chân không tham chiếu, lượng khí bị bẫy đó sẽ cho áp suất tác dụng trong quá trình co giãn với nhiệt độ tương ứng theo định luật Boyle, cho nên độ chân không gần tuyệt đối này sẽ được dùng như một tham chiếu để hạn chế bất kỳ sai số nhiệt nào có khả năng xuất hiện. Một trong những ưu điểm của các vi mạch tích hợp cảm biến điện trở piezo là bẫy chân không tham chiếu thể tích nhỏ, mà, trong sự giao hội với một bọc kín silicon-to-silicon có chất lượng, sẽ làm cho các dụng cụ này ổn định theo thời gian và nhiệt độ.

cuuduongthancong.com



Hình 5.68 – Cảm biến áp suất tuyệt đối.

Cuối cùng, máy đo áp kế chân không là một dạng đo áp suất mà trong đó áp suất chân không được cảm nhận với tham chiếu tới áp suất môi trường. Hình 5.69 giới thiệu đầu ra của một cảm biến chân không như thế. Tín hiệu ra 1[V] biểu thị áp suất môi trường.



Hình 5.69 – Đầu ra của một cảm biến chân không mức cao.

Lưu ý: Trong nhiều nguồn tham khảo, ở nhiều nước vẫn dùng đơn vị *pound trên inch vuông square [psi]* để đo áp suất. Hiển nhiên đơn vị đo này có thể được chuyển đổi sang những đơn vị đo thông dụng khác như *[mmHg]*, *[kPa]*, *[bar]*, vv... Cũng như thế, ở đây dùng ký hiệu đơn vị đo áp suất vi sai *differential* là *[psid]*, áp suất tuyệt đối *absolute* là *[psia]*.

Lựa chọn và đặc trưng các cảm biến áp suất. Khi đã có dự định về loại hoặc các loại áp suất cần phải đo, có thể bắt đầu thu hẹp

phạm vi tìm kiếm các cảm biến thích hợp bằng cách nhận thức các thông số vận hành quan trọng đối với từng ứng dụng cụ thể.

Các nhà sản xuất cảm biến muốn chắc chắn rằng các cảm biến được giao hàng là thích hợp với ứng dụng của khách hàng, và phần lớn các nhà cung cấp chào hàng một vài loại bản kê dữ liệu ứng dụng để giúp người sử dụng thu thập thông tin cần thiết nhằm đặc trưng đúng các cảm biến cho ứng dụng của mình. Ví dụ, truy nhập vào địa chỉ web:

http://content.honeywell.com/sensing/prodinfo/pressure/technical/c15_7.pdf

để tìm dạng bản kê những đặc tính thích hợp nhất để lựa chọn cảm biến áp suất, bao gồm cả loại áp suất, độ chính xác, linh kiện điện kèm theo, và những yêu cầu về môi trường.

Áp suất nào mà biến cảm phải đo?

Nhân thức đầu tiên là áp suất tối đa của hệ. Nói chung, thường thì người mua chọn dùng biến cảm có phạm vi đo lớn nhất phải cỡ 1,5 lần áp suất tối đa mong đợi trong hệ của mình. Lượng dư này là khuyến cáo, bởi vì nhiều hệ, đặc biệt là các hệ điều khiển quá trình sản xuất và thủy lực, có áp suất đỉnh hay là xung động áp suất liên tục. Các đỉnh áp suất này có thể lớn hơn 5 tới 10 lần áp suất “maximum”. Ở áp suất cao như vậy, các đỉnh áp suất tức thời có thể phá hủy bộ phận biến cảm áp suất. Những xung động áp suất cao liên tục, gần hoặc vượt hơn một chút giá trị cực đại giới hạn của biến cảm, cũng có thể làm biến cảm giảm tuổi thọ phục vụ. Nếu các tần số xung động đạt tới tần số tự nhiên (tần số cộng hưởng) của biến cảm, thì thậm chí những xung động biên độ thấp cũng có thể gây nên kích thích cộng hưởng và làm hỏng biến cảm. Tuy nhiên, việc đặc trưng một phạm vi hoạt động cao hơn không phải luôn luôn là giải pháp, bởi vì như thế sẽ hy sinh độ phân giải của phép đo. Cũng có thể dùng một bộ phận xén *snubber* để giảm các đỉnh áp suất, nhưng điều đó cũng phải thoả hiệp với việc nó làm chậm thời gian đáp ứng của biến cảm.

Trong các đặc tính kỹ thuật của cảm biến, phạm vi đo hay tín hiệu ra toàn thang đo là khoảng sai biệt đại số giữa các giới hạn trên và giới hạn dưới của phạm vi áp suất cảm biến (sai biệt giữa các điểm tận cùng đường cong tín hiệu ra). Thông thường các điểm tận cùng này là điểm '0' và điểm cuối thang đo. Định thiên 0 (*zero measurand offset* ZMO – tín hiệu ra zero của đại lượng đo) là tín hiệu điện đầu ra đạt tới, khi áp suất hay lực trên cả hai mặt màng ngăn cảm biến bằng nhau. “0 null” tham chiếu tới áp suất tương ứng, còn “0 offset định thiên” tham chiếu tới tín hiệu đầu ra nhận được khi áp suất ở điểm 0.

Phần lớn các nhà sản xuất có thể cho biết sản phẩm của họ được thiết kế sức chịu đựng trong bao nhiêu chu kỳ làm việc mà không bị mất tính năng hoạt động. Ví dụ, hãng Honeywell thiết kế cho 200 triệu chu kỳ chịu đựng áp suất toàn phần. Hãy nhận thức về áp suất hệ thống một cách cẩn thận khi lựa chọn một biến cảm. Sẽ phải thoả hiệp độ chính xác hệ thống đối nghịch với tuổi thọ của biến cảm.

Môi trường áp suất là gì?

Một yếu tố then chốt khác phải nhận thức được khi lựa chọn một biến cảm là môi trường đo. Liệu đó có phải là một chất lỏng nhớt hay chất đặc sệt có thể làm nghẹt cổng áp suất? Liệu đó là một chất dung môi hay ăn mòn có thể xâm thực vật liệu biến cảm khi tiếp xúc với chúng, hay lại là chất khí sạch và khô?

Những câu hỏi như thế sẽ xác định liệu có cần đến một dụng cụ rửa màng ngăn và vật liệu gì có thể tiếp xúc với môi trường đo. Một số mẫu có các màng ngăn tự rửa, còn những mẫu khác có các cổng áp suất. Có thể chọn loại màng ngăn thép không rỉ khi có tiếp xúc với môi trường để hạn chế vấn đề xảy ra bởi các yếu tố có tính xâm thực (xem hình 5.70).

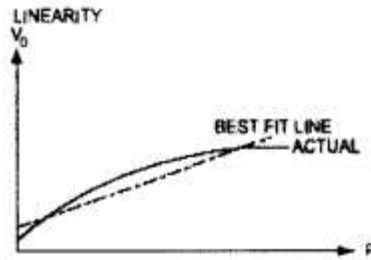


Hình 5.70 – Đối với các môi trường khắc nghiệt và ẩm ướt, có thể đặc trưng một hốc áp suất bằng thép không gỉ để bảo vệ.

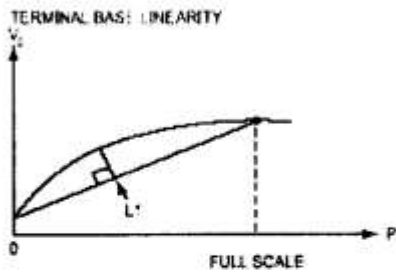
Độ chính xác của biến cảm phải như thế nào?

Độ chính xác là một thuật ngữ chung được sử dụng bởi nhiều nhà sản xuất biến cảm, để mô tả sai số đo lường hoặc độ bất định trong tín hiệu đầu ra của biến cảm. Các nguồn sai số này có thể bao gồm cả độ không tuyến tính, độ trễ, tính không lặp lại đặc tính, nhiệt độ, điểm cân bằng zero, hiệu chuẩn và các hiệu ứng độ ẩm. Phần lớn các nhà sản xuất đặc trưng “độ chính xác” như là các hiệu ứng được tổ hợp lại, từ độ phi tuyến, tính không trùng lặp, và độ trễ. Những sai số khác có thể được đặc trưng riêng.

Sai số tuyến tính là độ sai lệch đường cong đặc tính ra của cảm biến so với đường thẳng đặc trưng trong suốt phạm vi áp suất đã thiết kế (mức độ sai lệch tín hiệu ra của một dụng cụ tuyến tính so với chế độ vận hành lý tưởng). Nó thường được biểu diễn bằng số phần trăm tín hiệu ra trên toàn thang đo. Một phương pháp tính toán sai số tuyến tính là tính trị số bình phương nhỏ nhất, về mặt toán học cho ta một đường thẳng phù hợp nhất BFSL (*best fit straight line*) đối với các điểm dữ liệu (hình 5.71). Khi lựa chọn một biến cảm áp suất, người sử dụng phải cẩn thận xác định phương pháp dùng để tính toán sai số tuyến tính.

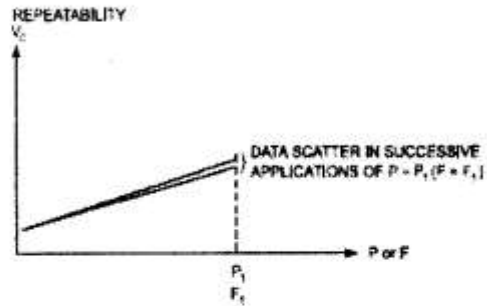


Hình 5.71 – Đường thẳng BFSL tuyến tính phù hợp nhất
Best Fit Straight Line.



Hình 5.72

Độ tuyến tính cơ sở giới hạn TBL.

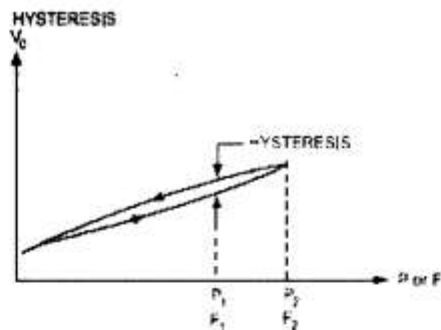


Hình 5.73

Sai số tính lặp lại.

Phương pháp khác xác định độ tuyến tính là độ tuyến tính cơ sở giới hạn TBL (*terminal base linearity*) hoặc điểm cuối độ tuyến tính (*end point linearity*) (hình 5.72). TBL được xác định bằng cách vẽ một đường thẳng (L_1) giữa các điểm dữ liệu tận cùng trên đường cong đặc tuyến ra. Điểm dữ liệu được chọn để đạt chiều dài tối đa của đường vuông góc. Độ dài của đường vuông góc thể hiện sai số độ tuyến tính cơ sở giới hạn TBL. TBL có độ lớn gần gấp đôi biên độ của BFSL.

Sai số tính lặp lại là sự sai lệch trong các chỉ số tín hiệu ra đối với các ứng dụng thành công của áp suất đầu vào bất kỳ đã cho, so với các điều kiện khác vẫn giữ được không đổi (xem hình 5.73).



Hình 5.74 – Độ trễ.

Sai số độ trễ thường biểu thị như một tổ hợp của độ trễ cơ học và độ trễ nhiệt. Hình 5.74 biểu diễn độ trễ như tổ hợp hai hiệu ứng này. Độ trễ cơ học là sai lệch tín hiệu đầu ra ở một áp suất đầu vào nhất định, khi đầu vào này đạt được tới áp suất đó thoát tiên bằng cách tăng áp suất rồi sau đó lại giảm áp suất. Đối với nhiều biến cảm, các sai số “độ chính xác” nhỏ hơn những sai lệch đó nhờ có cân bằng điểm 0 hay cân bằng nhiệt độ. Các biến cảm có độ chính xác cao nói chung là có giá thành cao hơn. Liệu hệ thống có thực sự cần đến độ chính xác cao hơn? Giải pháp sử dụng một biến cảm có độ chính xác cao, làm việc với thiết bị đo có độ phân giải thấp, sẽ là một giải pháp kém hiệu quả.

Những nhiệt độ nào mà biến cảm sẽ phải chịu?

Các biến cảm áp suất, cũng giống như mọi hệ đo lường vật lý khác, là đối tượng có sai số và hỏng hóc do những cực trị nhiệt độ cực đoan. Thông thường có hai phạm vi nhiệt độ được đặc trưng cho một biến cảm. Đó là phạm vi vận hành và phạm vi so bù. Phạm vi so bù là tập hợp con của phạm vi vận hành. Phạm vi nhiệt độ vận hành là phạm vi nhiệt độ mà biến cảm có thể vận hành trong đó, một khi được kích hoạt mà không bị hư hại. Tuy nhiên, nó sẽ không trùng hợp với các đặc tính hoạt động đã được công bố của nó (các hệ số nhiệt độ) khi chịu những nhiệt độ ngoài phạm vi nhiệt độ so bù. Phạm vi nhiệt độ so bù là một phạm vi hẹp điển hình bên trong phạm vi vận hành. Trong

dải nhiệt độ đó cảm biến được đảm bảo trùng hợp với những đặc tính đã công bố.

Sự thay đổi nhiệt độ ảnh hưởng tới tín hiệu ra của biến cảm theo hai cách. Chúng có thể làm thay đổi đầu ra zero và cũng có thể ảnh hưởng tới đầu ra toàn thang đo. Những sai số nhiệt độ này trong đặc tính hoạt động của biến cảm được liệt kê như sau:

- $\pm x \%$ của toàn thang đo / ° C;
- $\pm x \%$ của số chỉ thị / ° C;
- $\pm x \%$ của toàn thang đo trong suốt phạm vi nhiệt độ so bù / ° C;
- $\pm x \%$ của số chỉ thị đối với toàn phạm vi nhiệt độ so bù / ° C

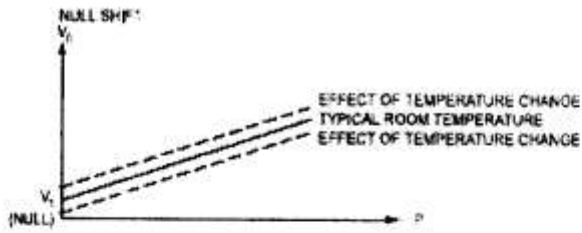
Không có những đặc tính liệt kê như thế sẽ làm tăng tính bất định khi sử dụng biến cảm.

Liệu sự thay đổi đầu ra biến cảm là do thay đổi áp suất hay do thay đổi nhiệt độ ?

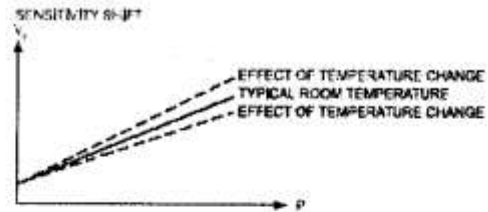
Nhiều hãng sản xuất đặc trưng các phạm vi vận hành và phạm vi so bù, các hệ số nhiệt độ của điểm 0 và khoảng phạm vi thang đo đối với mỗi sản phẩm. Các hiệu ứng nhiệt độ tác động lên biến cảm thường là phần phức tạp nhất trong kiến thức về khai thác sử dụng biến cảm.

Hiện tượng trôi điểm 0 nhiệt độ (thermal zero shift).

Hiện tượng trôi điểm 0 nhiệt là sự thay đổi trong tín hiệu đầu ra ở áp suất 0, gây ra bởi một sự thay đổi nhiệt độ nào đó. Trôi điểm 0 nhiệt độ là sai số không thể đoán trước được, bởi nó có thể dịch chuyển lên hay xuống, di biến từ bộ phận này sang bộ phận khác. Sự thay đổi nhiệt độ sẽ làm cho toàn bộ đường cong đặc tuyến ra bị dịch lên hay trôi xuống dọc trục điện áp (xem hình 5.75).



Hình 5.75 – Sai số trôi điểm 0.



Hình 5.76 – Sai số trôi độ nhạy.

Độ nhạy trôi điểm 0 là sự thay đổi độ nhạy bởi nhiệt độ thay đổi. Thay đổi nhiệt độ gây nên thay đổi độ dốc đường cong đặc tuyến ra (xem hình 5.76). Một cách tổng quát hơn, sai số trôi độ nhạy quy chiếu tới sự thay đổi độ nhạy bởi những thay đổi bất kỳ của môi trường.

Độ trễ nhiệt độ là sai lệch tín hiệu đầu ra ở một đầu vào nhất định, trước và sau một chu kỳ nhiệt độ. Trong một số ứng dụng, một vài số liệu đặc tính được nhà sản xuất công bố có thể bị cắt giảm hay hạn chế. Ví dụ, nếu sử dụng một cảm biến trong phạm vi nhiệt độ chỉ bằng hoặc hơn nửa phạm vi nhiệt độ được đặc trưng, thì có thể giảm sai số nhiệt độ đặc trưng đi một nửa.

Nên dùng tín hiệu ra nào ?

Hầu như mọi biến cảm đều có sẵn với sự lựa chọn đầu ra dạng tín hiệu điện áp millivolt, tín hiệu điện áp qua khuếch đại, tín hiệu dòng milliamper, hoặc tần số ra. Tín hiệu ra phụ thuộc vào khoảng cách giữa biến cảm và bộ điều khiển hay bộ phận hiển thị trong hệ, sự hiện diện của nhiễu hoặc các giao thoa điện-từ khác, liệu có cần khuếch đại hay không, và nếu cần thì đâu là nơi thích hợp nhất lắp đặt bộ khuếch đại. Đối với nhiều sản phẩm OEM với khoảng cách ngắn giữa bộ biến cảm và bộ điều khiển, thì đầu ra cỡ millivolt thường là tương thích và rẻ tiền hơn.

Nếu cần khuếch đại tín hiệu đầu ra của biến cảm, thì có thể dùng bộ biến cảm vì sai có bộ khuếch đại tích hợp bên trong dễ dàng hơn. Để chạy cáp đường dài, hoặc ở những diện tích có nhiễu điện từ

lớn, thì tín hiệu ra là tín hiệu dòng cỡ milliampere hay là tần số thì phù hợp hơn. Đối với những môi trường có mức độ nhiễu giao thoa tần số radio rất lớn hoặc giao thoa điện-từ (EEI *environment electrical interference* hay EMI *electromagnetic interference*), thì phải nhận thức được sự cần thiết bọc màn chắn bảo vệ và lọc nhiễu hỗ trợ cho các đầu ra milliampere hay tần số.

Điện áp kích thích là gì?

Loại tín hiệu đầu ra có thể xác định dạng điện áp kích thích cần thiết. Nhiều bộ biến cảm transducer có khuếch đại cũng có tích hợp bên trong một bộ điều chỉnh điện áp, và hoạt động trong một phạm vi điện áp rộng từ một nguồn điện áp không được điều chỉnh. Một số biến cảm thuộc loại tỷ lệ *ratiometric* đòi hỏi nguồn kích thích điều chỉnh được. Điều khiển tỷ lệ có nghĩa là đầu ra cảm biến tỷ lệ với điện áp cung cấp khi những điều kiện khác vẫn giữ không đổi. Sai số tỷ lệ là sự thay đổi trong tỷ lệ ấy và thường biểu thị như số phần trăm của phạm vi đo. Nguồn cung cấp có sẵn có thể đặt điều kiện cho việc liệu có dùng loại transducer có điều chỉnh hay không điều chỉnh. Hãy nhận thức tính thoả hiệp giữa nguồn kích thích có sẵn và giá thành hệ thống. Nhiều bộ khuếch đại biến cảm hay dây đo biến dạng có nguồn cung cấp kích thích hoặc là điện áp điều chỉnh được hoặc là dòng điều chỉnh được.

Liệu có cần loại biến cảm có thể thay thế nhau được?

Điều quan trọng là các biến cảm transducers thay thế nhau được từ hệ này sang hệ khác, hoặc sẽ phải hiệu chuẩn từng transducer một như một bộ phận riêng lẻ trong toàn hệ thống? Điều đó quan trọng, đặc biệt là đối với OEM. Một khi hãng sản xuất đã chuyển sản phẩm của mình tới khách hàng, thì chi phí hiệu chuẩn tại hiện trường là rất lớn. Nếu các biến cảm thực sự là thay thế nhau được, thì có khả năng thay thế biến cảm tại chỗ và hy vọng rằng hệ thống sẽ vẫn giữ được đặc tính hoạt động như cũ mà không cần phải hiệu chuẩn lại biến cảm.

Biến cảm cần ổn định như thế nào với thời gian?

Phần lớn các cảm biến sẽ “trôi” cách nào đó theo thời gian. Điều quan trọng là phải thảo luận về độ ổn định lâu bền với nhà cung cấp. Công việc làm trước sẽ trả giá cho những vấn đề xảy ra sau tại hiện trường.

Việc kết nối biến cảm vào hệ thống thực hiện như thế nào?

Một đường dây cáp ngắn nối biến cảm có thích hợp chăng? Hay là, trong trường hợp phải chạy đường dây cáp dài, liệu có cần đầu nối cho cảm biến? Nhiều loại biến cảm áp suất có thể được cung cấp với dây cáp nối hay các đầu nối thích hợp kèm theo.

Biến cảm phải bền chắc đến mức nào?

Một yếu tố thường bị bỏ qua, nhiều hơn mức độ thất vọng của người sử dụng, là độ bền chắc của biến cảm, đặc biệt là vỏ bọc của nó. Điều quyết định là nhận thức môi trường vận hành tương lai của biến cảm. Liệu môi trường đó có độ ẩm hay hơi ẩm cao? Biến cảm sẽ được lắp đặt như thế nào? Liệu ở đây sẽ có rung động hay va đập mức độ cao? Tất cả những câu hỏi ấy nên được nhận thức khi lựa chọn một kiểu vỏ bọc.

Bởi các cảm biến áp suất được sử dụng trong một phạm vi ứng dụng rộng rãi và rất khác nhau như thế, chúng được chế sẵn dưới dạng những khối chức năng nhẹ trong vỏ bọc plastic giá thành hiệu quả, cho tới những dạng thiết bị bọc kín được bao trong vỏ bọc bằng thép không rỉ cho những môi trường khắc nghiệt hay nguy hiểm, những chỗ có hoá chất ăn mòn, và những ứng dụng với quan tâm chủ yếu là khử trùng, như trong chế biến thực phẩm, hay sản xuất dụng cụ y tế.

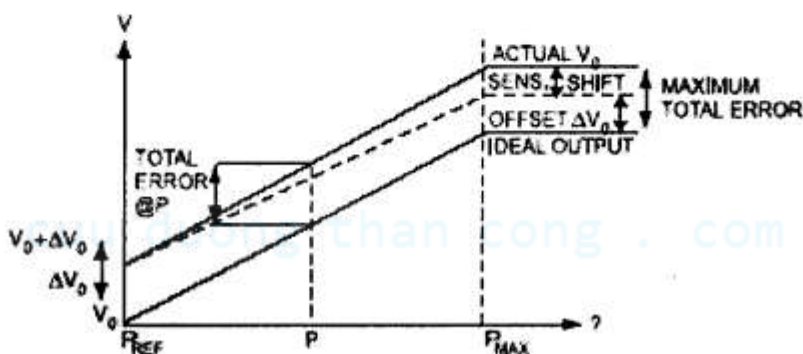
Giao diện và kỹ thuật ứng dụng cảm biến áp suất.

Khi thiết kế ứng dụng, điều quan trọng phải hiểu là các cảm biến áp suất không lý tưởng. Việc tinh chỉnh bằng laser cho các cảm biến tích hợp độ khuyếch đại cao, nói chung là làm giảm các sai số điểm 0 và toàn thang đo tới trị số xấp xỉ 1 hay 2 phần trăm khoảng

phạm vi đo, nhưng không hoàn toàn triệt tiêu được chúng. Việc thiết kế mạch hiệu chỉnh hỗ trợ đôi lúc là cần thiết, nhất là cho những ứng dụng chỉ cho phép dung sai bó hẹp trong một phạm vi cực nhỏ.

Hình 5.77 minh họa đặc tuyến một cảm biến áp suất “lý tưởng”. Độ trôi tín hiệu ra theo thời gian, việc tinh chỉnh dung sai, và những thay đổi nhiệt độ môi trường ... tất cả góp phần vào sai số định thiên offset hằng (sai số dạng chung *common-mode error*), ký hiệu là ΔV_0 . Những thay đổi nhiệt độ môi trường cũng góp thêm sai lệch dạng khác, được biết như trôi độ nhạy, làm thay đổi độ dốc đường cong đặc tuyến điện áp theo áp suất.

Các phương pháp được biết như kỹ thuật tham chiếu tự động *auto-referencing* là một công cụ mạnh để bù trừ những sai số đó. Những kỹ sư thiết kế hệ thống nhận thấy phương pháp này rất hấp dẫn, bởi vì giá thành thực hiện nhỏ hơn so với các cảm biến áp suất siêu bền. Và như vậy, thực tế độ chính xác của dụng cụ cũng tăng lên. Có thể thực hiện tham chiếu tự động theo phương pháp tương tự *analog* hay cả *digital*. Phương pháp số digital là phương pháp có hiệu quả giá thành nhất và dễ thực hiện. Nếu giới hạn độ chính xác của mạch tham chiếu tự động được thể hiện bằng sai số, thì sai số có thể giảm xuống ít nhất là 250 lần, chỉ còn vấn đề sai số trôi độ nhạy (dạng thường *normal-mode*).



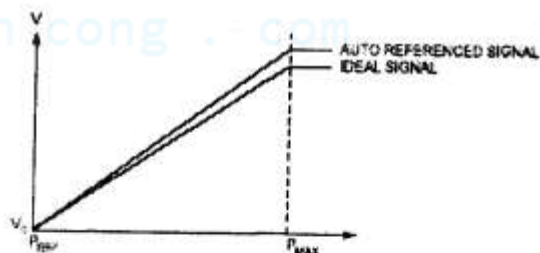
Hình 5.77 – Các sai số cảm biến.

Đó là tiến bộ có ý nghĩa mà giá thành phụ trội đem lại. Trong ứng dụng bất kỳ, khi việc tăng độ chính xác cảm biến tối đa là có giá trị, thì hãy công nhận giải pháp sử dụng mạch tham chiếu tự động. Việc tham chiếu tự động (dạng chung *common-mode*) làm thay đổi các nguồn sai số (dạng chung). Các sai số dạng chung hiện diện ở một số áp suất tham chiếu và góp phần vào điện áp hằng định thiên offset như minh họa trên hình 5.77. Những sai số này nói chung lớn hơn sai số trôi độ nhạy, đặc biệt là ở những áp suất gần bằng áp suất tham chiếu. Do đó, chúng cho phép đo đạt độ chính xác cao nhất khi được tham chiếu tự động.

Các sai số dạng chung dễ hiệu chỉnh. Hãy trích mẫu *sample* điện áp ra ở áp suất tham chiếu và so sánh nó với điện áp tham chiếu mong muốn. Tạo một điện áp hiệu chỉnh sai số rồi đem nó bù trừ cho tín hiệu ra ở áp suất đo bất kỳ (xem hình 5.78).



Hình 5.78 –
Các sai số dạng chung.



Hình 5.79 –
Tín hiệu tham chiếu tự động.

Việc tham chiếu tự động dạng chung được biểu thị bởi công thức:

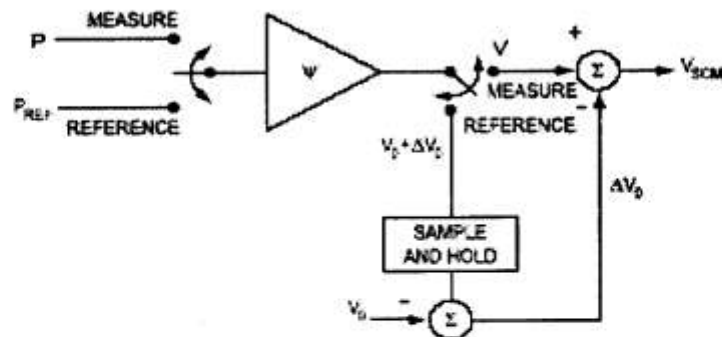
$$V_{corr} = V_{out} - \Delta V_0; \quad (5.30)$$

ở đây: V_{out} – tín hiệu đo đầu ra; ΔV_0 – sai số dạng chung; V_{corr} – tín hiệu ra được hiệu chỉnh.

Lưu ý rằng không có hiệu chỉnh độ dốc đặc tuyến nào được thực hiện đối với sai số trôi độ nhạy, và tín hiệu ra thực tế sẽ có dạng như trên hình 5.79.

Việc thực hiện tự động tham chiếu dạng chung đòi hỏi phải sử dụng những khối chức năng cơ bản như sơ đồ hình 5.80 minh họa. Chúng bao gồm các chuyển mạch tương tự, mạch lấy mẫu và dừng S&H, bộ cộng, và logic đồng bộ hoá chuyển mạch giữa các chu kỳ đọc và tham chiếu ở đầu vào và đầu ra của cảm biến. Để vẫn giữ được độ chính xác tối ưu cho hệ thống, nên tự động tham chiếu càng thường xuyên càng tốt để hạn chế những biến động nguồn cung cấp và trôi tín hiệu ra theo thời gian.

Để chắc chắn rằng phép đo áp suất sẽ được thực hiện một cách chính xác nhất, sơ đồ thực hiện lập tức lệnh tự động tham chiếu. Mặc dù việc tham chiếu tự động dạng chung hầu như là kỹ thuật vạn năng, vẫn có những tình huống mà ứng dụng chúng ít mang lại hiệu quả: như ở các hệ có chu kỳ đo lường ngắn hạn, ở nơi mà các điểm tham chiếu được đọc hay được hiệu chỉnh bằng tay trước khi khởi động chu kỳ, hoặc ở chỗ mà cảm biến được ghép với nguồn điện xoay chiều AC và đáp ứng thành phần điện một chiều DC sẽ bị loại trừ.



Hình 5.80 – Nguyên lý tự động tham chiếu dạng chung.

Những kiểu chu kỳ đo nhất định vốn thích hợp với “quy không tự động” (áp suất tham chiếu thực tế là ‘0’). Một cách lý tưởng, có một loạt các chu kỳ ngắn hạn có thể có khoảng tham chiếu nhanh chèn vào

trước mỗi chu kỳ. Một chu kỳ đo ngắn được đặt trình tự thực hiện điểm tham chiếu trước, kế theo là khoảng thời gian không tác động để đo, cũng rất thích hợp.

Nhiều ứng dụng dựa trên một trong những tiêu chuẩn này. Một số ứng dụng không thể chuyển đổi được theo khuôn khổ chu kỳ lặp lại ngắn hạn, thì sẽ được thiết kế có tính sáng tạo một chút. Những ví dụ ứng dụng quy không tự động *auto-zeroing* “lý tưởng” là: thang cân đo, bồn nước toilet, máy giặt; và các bình trữ áp suất như áp suất lốp xe, áp suất dầu, và áp suất bình chứa khí LP. Điều kiện tham chiếu được cung cấp trước khi đo. Những trường hợp khác là đo lưu lượng dòng chảy và những ứng dụng điều khiển, ví như các hệ điện tử phun nhiên liệu (động cơ đốt trong), các áp kế *sphygmomanometers*, và các hệ đốt nóng không khí cưỡng bức. Lưu lượng bằng 0 tại một điểm nào đó, thường là khi hệ bị ngắt nguồn điện. Nếu có dùng kỹ thuật quy không tự động, thì có thể hạn chế sai số định thiên điểm 0 và trôi điểm 0.

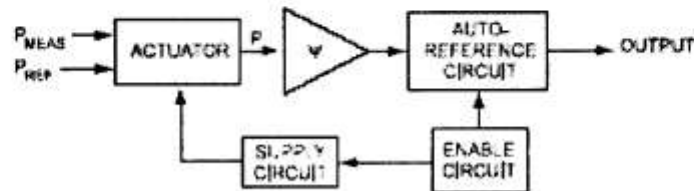
Chìa khóa đối với mạch tham chiếu tự động là áp dụng tín hiệu kích khởi *trigger signal* để ra lệnh cho việc tham chiếu xuất hiện vào thời điểm thích hợp. Đó gọi là lệnh tham chiếu tự động.

Việc tham chiếu tự động đòi hỏi xác lập một hệ các điểm tham chiếu. Việc xử lý theo gói *batch processing* và xử lý liên tục *continuous processing* là hai tiêu chuẩn chính của chu kỳ đo. Trong quá trình xử lý gói, điều kiện tham chiếu xuất hiện vào một thời điểm nào đó, thường là khi hệ được mở nguồn điện. Ví dụ, một bồn chứa toilet có mức nước cao trước khi xả, tương ứng với một áp suất tham chiếu nào đó. Khi chu kỳ xả hoàn thành, bồn nước lại được điền đầy tới mức cũ. Điểm tham chiếu tự động hiển nhiên là điểm ngay trước khi xả, khi nước đang ở một mức đã biết.

Trong quá trình xử lý liên tục thì không dễ gì tiếp cận được với điều kiện tham chiếu. Ví dụ, cần kiểm tra khối lượng chất lỏng trong một tháp nước. Đó là chức năng độ sâu của nước và có thể cảm nhận bằng một cảm biến áp suất. Không giống như toilet, ở đây không thực

sự phải làm một phép đo áp suất, không có một điểm nào trong thời gian mà ở đó biết được độ sâu. Hệ “cảm biến / tham chiếu tự động / cơ cấu chấp hành” có thể dùng cho trường hợp đơn giản, khi một tham chiếu biết trước xuất hiện một cách định kỳ. Như vậy, có thể sử dụng một cơ cấu chấp hành điều kiện tham chiếu kiểu như van cảm ứng điện từ *valve solenoid*. Nó có thể chuyển mạch ra của cảm biến, từ áp suất đo sang một áp suất tham chiếu nào đó khác.

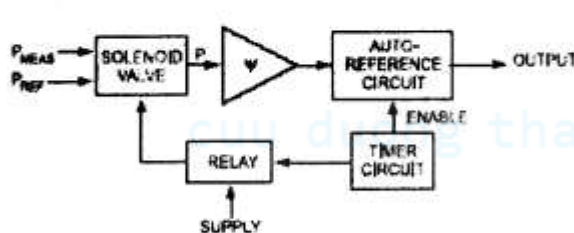
Cuộn dây cảm ứng solenoid có thể được kích hoạt bởi người sử dụng, theo một điều kiện nào đó, như bật mở nguồn điện, hoặc bằng một mạch khởi động theo thời gian (xem hình 5.81).



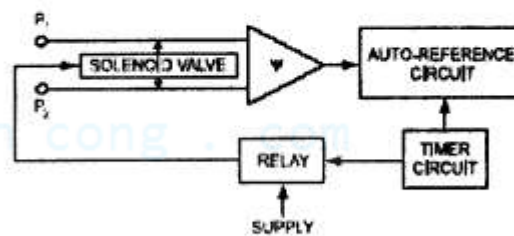
Hình 5.81 – Tham chiếu tự động có các cơ cấu chấp hành điều kiện tham chiếu.

Valve phải được kích hoạt đủ lâu để áp suất có cơ hội ổn lập trạng thái, sao cho có thể ghi nhận chỉ số đo tin cậy. Lấy tháp nước làm ví dụ. Một cảm biến áp-kế đặt gần đáy sẽ cảm nhận độ sâu nước. Một ống venturi đặt ở bề mặt dùng làm áp suất tham chiếu.

Một van cảm ứng ba đường dùng làm cơ cấu chấp hành, kết nối nước và ống venturi với cổng vào của cảm biến. Một mạch định thời dùng làm bộ điều hành *enabler* (xem hình 5.82).



Hình 5.82
Mạch định thời, cổng đơn.



Hình 5.83
Mạch định thời, cổng kép.

Tiếp theo, giả thiết nước chảy qua đường ống đơn có đường kính không đổi. Có thể đo vận tốc chảy bằng một cảm biến áp suất vi sai. Cuộn dây solenoid hai đường được mắc giữa hai cổng vào, dùng làm cơ cấu chấp hành tham chiếu như trong hình 5.83.

Những phát triển mới và triển vọng. Nhiều phát triển mới kết hợp với kỹ thuật cảm biến áp suất tạo ra các cảm biến cung cấp nhiều chức năng hơn là chỉ dùng đo áp suất. Ngày càng nhiều hệ thống điều khiển tự động trở thành các mạng dựa trên cơ sở CAN và các hệ tự nó thành “linh hoạt hơn”. Các nhà sản xuất cảm biến đang gia tăng cơ hội cung cấp nhiều “thông tin” hơn, ngược với việc chỉ đưa những tín hiệu ra đơn giản.

Công nghệ CAN đã dẫn tới các cảm biến linh hoạt chào mời một loạt những chức năng phân tích các quá trình liên quan và tự phân tích. Chúng đang được vận hành trong các trang thiết bị thông minh “*intelligent*”, trên sàn xưởng sản xuất, trong khoang máy bay, và trong cabin xe máy.

Một nỗ lực khác bao hàm việc ghép chum các kiểu phần tử cảm biến khác nhau bên trong vỏ một chip vi mạch đơn. Hãng Honeywell dùng cách tiếp cận này khi họ dùng cảm biến lưu lượng khối khí để tạo ra một vi cảm biến *microsensor* để đo liên tục nhiệt độ môi trường, áp suất, nhiệt dẫn và nhiệt dung riêng của chất lỏng. Công nghệ này có thể áp dụng cho các nhà máy hoá chất, các phương tiện lưu trữ hoá chất, và trong công nghệ sản xuất xe ô tô, nơi mà nói ví dụ, nó cho phép động cơ xe máy tự điều chỉnh đối với những thay đổi tính chất nhiên liệu mỗi lần bồn nhiên liệu được nạp lại, làm cho chất khí *gas* được cải thiện khoảng cách tính ra dặm *mileage* và làm sạch khí thải.

Cùng cách tiếp cận như vậy được thực hiện để phát triển công nghệ điện trở áp-điện, chất silicon trên nền cách điện SOI (*Silicon-On-Insulator*), có độ nhạy cao, chịu nhiệt độ cao, dùng cảm biến áp suất, cảm biến nhiệt độ, và các mạng điện trở phản hồi *feedback* và điện trở định thiên *bias* đều được tích hợp bên trong một chip vi mạch đơn tế vi

90 millimet vuông. Công nghệ này được thiết kế cho những ứng dụng ở cả áp suất cao lẫn nhiệt độ cao. Hệ số dây đo cao của chúng là rất quan trọng trong những ứng dụng có tỷ số “tín hiệu trên nhiễu” (“*signal-to-noise*” *ratio*) lớn để đạt được độ chính xác hoạt động cao, đặc biệt là trong một phạm vi biến thiên nhiệt độ rộng như đòi hỏi ở động cơ turbine và trong bể chứa dầu công nghiệp ngầm. Các kết quả thử nghiệm trích mẫu chỉ ra rằng thiết kế cảm biến đã hạn chế thành công và/hoặc giảm thiểu một cách thành công các nguồn sai số độ trễ cơ học và trễ nhiệt ở mức tuyệt vời đối với năng lực đo lường hiện đại đã “thành nghệ thuật”.

5.2.2 Các cảm biến áp suất kiểu điện trở áp-điện piezo-.

Hai anh em Pierre và Jacques Curie đã phát hiện hiệu ứng áp-điện piezoelectric từ năm 1880. Họ tìm ra rằng một số vật liệu tinh thể kết tinh tạo ra sự phân cực điện khi chịu một lực tải cơ học dọc theo một hướng tinh thể nào đó. Trong số các vật liệu họ đã khảo sát thì thạch anh *quartz* và *tourmaline* là hai tinh thể mà ngày nay vẫn thường dùng trong các cảm biến điện trở áp-điện. Cảm biến áp suất dạng điện trở áp-điện đầu tiên đã được công bố khoảng năm 1920, nhưng các cảm biến thương mại vẫn chưa sẵn có trên thị trường cho mãi tới những năm 1950, khi các ống đo tĩnh điện *electrometer tubes* có chất lượng đảm bảo trở thành phổ biến. Ngày nay, các cảm biến áp suất được sử dụng rộng rãi trong các phòng thí nghiệm và trong sản xuất. Những ứng dụng chủ yếu được nhận thấy trong các máy nổ động cơ đốt trong *combustion engines*, công nghệ đúc khuôn phun *injection molding* và đạn đạo *ballistics*, nhưng chúng cũng có thể ứng dụng trong những lĩnh vực bất kỳ, đòi hỏi độ chính xác đo lường hoặc kiểm tra các biến thể áp suất.

Các ưu điểm chủ yếu của cảm biến áp-điện là:

- Phạm vi đo rộng (tỷ số khoảng đo trên ngưỡng đo đạt tới 108).
- Độ cứng vững cao (tần số tự nhiên cao).

- Độ tuyến tính cao giữa tín hiệu ra và tải trọng tác dụng.
- Có tính năng lặp lại và ổn định đặc tính (khi dùng các đơn tinh thể).
- Phạm vi nhiệt độ làm việc rộng.
- Không nhạy với các trường điện và điện-từ.

Người ta thường nói rằng các biến cảm áp-điện dựa trên hiệu ứng áp điện thuận chỉ có thể dùng đo áp suất động học. Điều đó đúng một phần, vì chúng chỉ phản ứng với sự thay đổi trong tải trọng và vì vậy không thể thực hiện các phép đo thực sự tĩnh. Tuy nhiên, một cảm biến tốt với phần tử cảm biến làm từ vật liệu đơn tinh thể, kết hợp với các bộ phận điện tử tương thích, có thể dùng cho những phép đo chính xác áp suất tĩnh xuống tới cỡ 0,1 [mHz]. Nói cách khác, có thể thực hiện được các phép đo chuẩn tĩnh *quasistatic* kéo dài tới cỡ vài giờ.

Các cảm biến áp suất kiểu áp-điện dựa trên hiệu ứng áp điện thuận (tạo ra điện tích dưới tác dụng của tải cơ học) được coi là các cảm biến tích cực, vì chúng không cần có nguồn cung cấp nào bên ngoài. Chúng có đầu ra là điện tích, nên đòi hỏi phải mắc thêm bên ngoài một bộ chuyển đổi điện tích thành điện áp.

Về bản chất, có hai loại chuyển đổi, điện kế tĩnh điện *electrometer* và khuếch đại điện tích *charge amplifier*. Bộ khuếch đại điện tích được sáng chế bởi W.P. Kistler năm 1950 và dần dần thay thế các điện kế tĩnh điện trong những năm 1960. Sự dẫn nhập các mạch MOSFET và JFET và sự phát triển các vật liệu cách điện cao như teflon và kapton đã tăng cường tính năng vận hành và thúc đẩy kỹ thuật đo lường áp-điện ứng dụng trong mọi lĩnh vực công nghệ hiện đại.

Các vấn đề công nghệ ứng dụng cơ bản.

Hiệu ứng áp-điện Piezoelectricity. Hiệu ứng áp-điện được định nghĩa một cách cơ bản là một tương tác điện-cơ tuyến tính trong một vật liệu không có tâm đối xứng. Người ta phân biệt hiệu ứng áp-

điện thuận và hiệu ứng áp-điện nghịch. Trong trường hợp hiệu ứng áp-điện thuận, một tải trọng cơ học hay sự biến dạng tinh thể tạo nên một điện tích tỷ lệ hay một thế điện động. Trong trường hợp hiệu ứng áp-điện nghịch thì một điện trường tác động lên tinh thể tạo nên một sự biến dạng cơ học hoặc tạo ra một tải trọng tỷ lệ với trường tác dụng. Đối với kỹ thuật cảm biến đo lường các đại lượng biến dạng thì ứng dụng chủ yếu hiệu ứng áp-điện thuận. Ở đây có thể mô tả hiệu ứng piezo- như sau:

$$D = \varepsilon.E + d.X ; \quad (5.31)$$

ở đây: D là sự dịch chuyển do điện trường tạo nên; E là cường độ điện trường; X là ứng suất cơ cung cấp cho vật liệu. Hằng số điện môi ε và hệ số áp-điện d mô tả tính chất của vật liệu. D và E là những vectors, ε là tenxơ hạng 2, d là tenxơ hạng 3 và X là tenxơ hạng 4. Điều này có nghĩa các tính chất áp-điện là dị hướng *anisotropic*, các hệ số tích cực đối với d và ε được xác định bằng tính đối xứng của tinh thể. Do đó sự định hướng của phần tử đo lường dạng tinh thể kết tinh là quan trọng và có tính quyết định các thuộc tính của nó. Ở đây dùng khái niệm tenxơ biến dạng, mô tả sự biến dạng của một vật, trong đó các đại lượng là các thành phần tenxơ biến dạng của độ dịch chuyển D .

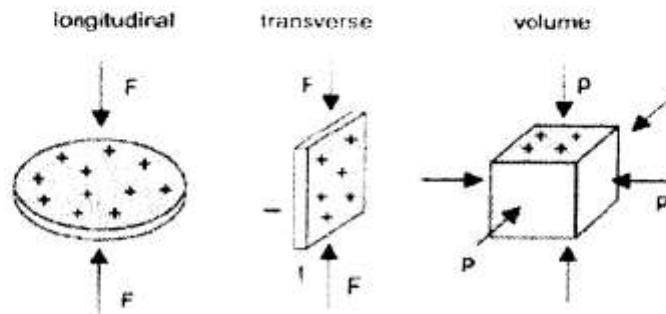
Mặt cắt dọc và ngang, hiệu ứng thể khối. Trong mặt cắt dọc, bề mặt A_Q mà trên đó có điện tích Q được tạo ra, cũng như bề mặt A_F mà trên đó có tải trọng (lực) F tác dụng. Độ nhạy áp-điện chỉ phụ thuộc duy nhất vào hệ số áp-điện dọc d_L . Ngược lại, trong mặt cắt ngang, điện tích tạo ra và tải trọng cung cấp không tác dụng trên cùng một bề mặt. Độ nhạy phụ thuộc vào cả hệ số áp-điện ngang d_T và vào tỷ số diện tích bề mặt A_Q/A_F (hình 5.84).

$$\text{Mặt cắt dọc: } Q = d_L.F ; \quad (5.32)$$

$$\text{Mặt cắt ngang: } Q = d_T.F \cdot \frac{A_Q}{A_F} = d_T.F \cdot \frac{l}{t} ; \quad (5.33)$$

ở đây: l là chiều dài và t là độ dày của tấm áp-điện.

Ưu điểm của mặt cắt ngang là có thể gia tăng độ nhạy bằng hệ số hình học l/t , giả thiết là các hệ số áp-điện dọc và ngang là như nhau. Điều đó luôn đúng đối với trường hợp thạch anh và mọi tinh thể có tinh thể đối xứng như thạch anh. Còn đối với tourmaline, lithium niobate, lithium tantalate và gốm áp-điện piezoceramics thì hệ số ngang chỉ bằng 1/10 hay 1/3 hệ số dọc, vì vậy mà đối với các tinh thể này mặt cắt ngang ít khi được sử dụng.



Hình 5.84 – Mặt cắt dọc (trái): điện tích tạo ra và lực tác dụng trên cùng một bề mặt.

Mặt cắt ngang (giữa): điện tích tạo ra không trên cùng bề mặt với lực tác dụng.

Hiệu ứng thể khối (phải): Áp suất thủy tĩnh cung cấp lên một mẫu thử, điện tích tạo ra trên hai bề mặt đối diện.

Cả hai hiệu ứng dọc và ngang đều dựa trên cơ sở trục đơn *uniaxial*. Áp suất cần đo được chuyển đổi thành lực tác dụng đơn trục bởi một màng ngăn.

Hiệu ứng thể khối khác với hiệu ứng đơn trục là lực được cung cấp lên mọi bề mặt của phần tử cảm biến. Độ nhạy là tổng của các thành phần dọc và ngang.

$$\text{Hiệu ứng thể khối: } Q = (d_L \cdot p + 2 \cdot d_T \cdot p) \cdot A_Q = d_h \cdot p \cdot A_Q ; \quad (5.34)$$

ở đây: d_h là hệ số áp-điện thủy tĩnh và p là áp suất cung cấp.

Lưu ý rằng hệ số áp-điện thủy tĩnh d_x luôn bằng 0 đối với thạch anh và tất cả các tinh thể có cùng đối xứng tinh thể như thạch anh. Hiệu ứng thể khối được sử dụng chủ yếu trong các cảm biến sóng va đập hoặc trong các ứng dụng thủy âm học *hydrophone*, nơi mà hướng lan truyền sóng áp suất chưa biết trước.

Đối với các hiệu ứng dọc, ngang và thể khối, tải trọng được cung cấp vuông góc với bề mặt áp-điện tích cực. Về nguyên tắc cũng có thể sử dụng được các mặt cắt biến dạng trượt *shear cuts*, nơi mà tải trọng được cung cấp song song với bề mặt, nhưng sẽ không gia tăng đáng kể các thuộc tính áp-điện.

Vật liệu áp-điện. Phần tử cảm biến là trái tim của transducer và nên lựa chọn một cách kỹ lưỡng. Các phương cách bù trừ bằng mạch điện tử hoặc bằng phần mềm đối với các tinh thể có thuộc tính “tồi” khó mà thực hiện được. Độ nhạy cao, điện trở cách điện cao, độ bền cơ học cao, độ cứng vững cao, tính phụ thuộc nhiệt độ thấp (của các đặc tính kỹ thuật) trong một phạm vi biến thiên nhiệt độ rộng, tính dị hướng thấp, quan hệ tuyến tính giữa điện tích và ứng suất cơ, không bị lão hoá, không có tính hoả điện *no pyroelectricity* (không nhạy với thay đổi nhiệt độ), chịu gia công chế tạo, giá thành chế xuất thấp – đó chỉ là một số ít những yêu cầu đối với một vật liệu áp-điện tốt. Tất nhiên, không tồn tại thứ vật liệu lý tưởng đáp ứng thoả mãn hết những tiêu chuẩn nêu trên.

Thạch anh đã được sử dụng một cách phổ biến trong những năm trước và vẫn còn là vật liệu được lựa chọn cho hầu hết các cảm biến áp suất ngày nay. Nó rất ổn định, có sức bền cơ học rất cao, có thể sử dụng tới 400°C , có các tính chất cách điện tuyệt vời, có sai lệch độ nhạy tối thiểu tới tận 350°C (với mặt cắt tinh thể đặc biệt), không có tính hoả điện và giá thành sản phẩm thấp. Nhược điểm duy nhất của thạch anh là độ nhạy của nó tương đối thấp và có xu hướng sinh đôi tinh thể *twin* dưới tải trọng quá cao.

Tourmaline có độ nhạy thấp hơn thạch anh, nhưng phạm vi nhiệt độ của nó khuyếch trương tối thiểu tới 600°C . Tuy nhiên nó có tính hoả điện và chỉ có sẵn dưới dạng tinh thể tự nhiên. Lithium niobate và lithium tantalate có độ nhạy cao hơn, nhưng chúng có tính hoả điện mạnh và điện trở cách điện của chúng rất thấp, chỉ sử dụng hạn chế trong những ứng dụng đơn thuần động học.

Các tinh thể nhóm CGG (điển hình là các tinh thể $\text{Ca}_3\text{Ga}_2\text{Ge}_4\text{O}_{14}$ và langasite, nói ví dụ) là vật liệu mới được tích cực nghiên cứu 20 năm qua. Chúng thuộc loại có tinh thể đối xứng như thạch anh, không có tính hoả điện và có độ nhạy cao. Không giống như thạch anh hay gallium orthophosphate, chúng không có sự chuyển pha cho tới điểm nóng chảy (trên 1300°C), cho nên các đặc tính của chúng vẫn giữ được rất ổn định cho tới nhiệt độ rất cao và không xảy ra sinh đôi tinh thể. Tuy nhiên sự tăng trưởng các tinh thể lớn khó khăn hơn nhiều so với thạch anh, mặc dù tinh thể langasite đã tăng trưởng được đến cỡ 4 inch đường kính.

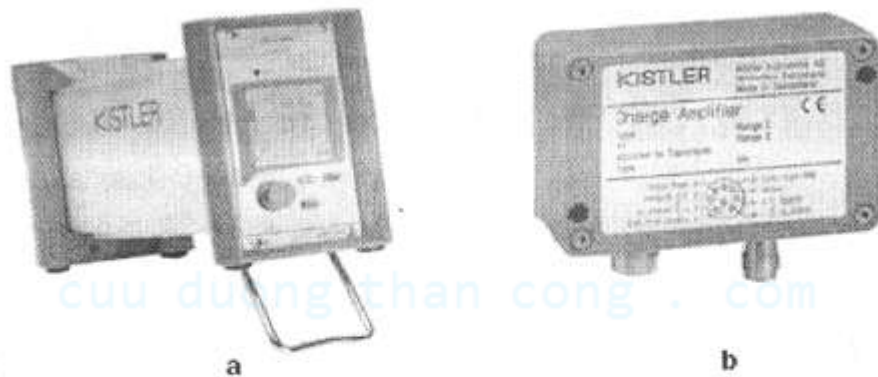
Gallium orthophosphate cũng có cùng dạng cấu trúc tinh thể như thạch anh. Độ nhạy của nó gấp hai lần thạch anh và thực tế không đổi cho tới 500°C . Sự chuyển pha của nó nằm trong khoảng 970°C (đối với thạch anh là 573°C), làm phạm vi nhiệt độ có ích mở rộng lên đến 600°C . Tuy nhiên nó rất khó phát triển tinh thể (sự tăng trưởng kéo dài vài tháng tới một năm) và không sẵn có dưới dạng tinh thể lớn.

Các chất gốm áp-điện *piezoceramics* trên cơ sở PZT và Lead-Metaniobate có độ nhạy áp-điện rất lớn (tới 100 lần so với thạch anh), nhưng bị lão hoá (phụ thuộc thời gian khử phân cực), độ tuyến tính yếu và hiệu ứng hoả điện lớn, làm hạn chế phạm vi sử dụng, chỉ những ứng dụng mà độ chính xác không quan trọng lắm.

Các chất gốm áp-điện nhiệt độ cao (các vật liệu dựa trên bismuth titanate) có thể sử dụng tới $500 - 600^{\circ}\text{C}$, nhưng phải chịu đựng những vấn đề tương tự như PZT (mặc dù không đến nỗi nghiêm

trọng lăm). Độ nhạy của chúng cao hơn thạch anh khoảng 5 đến 10 lần. Chúng được dùng trong những ứng dụng nhiệt độ cao (ví dụ các máy đo gia tốc hoạt động được đến 600° C).

Các bộ phận điện tử. Như đã nêu trong phần giới thiệu, các biến cảm áp-điện là những hệ tích cực (chúng không đòi hỏi nguồn cung cấp ngoài nào) mà có tín hiệu ra là điện tích (đầu ra trở kháng cao). Để thu thập dữ liệu và phân tích tín hiệu, đầu ra điện tích phải được chuyển đổi thành điện áp, ví dụ bằng các phương tiện điện kế tĩnh điện hay khuếch đại điện tích.

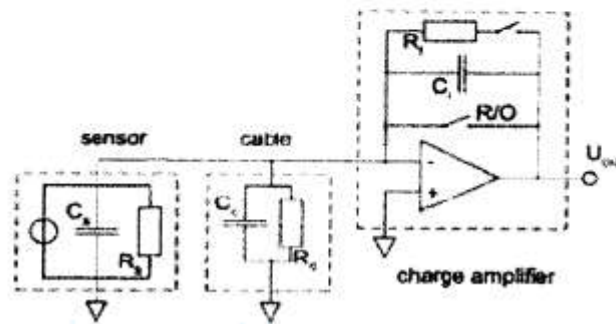


Hình 5.85 – a). Bộ khuếch đại điện tích phòng thí nghiệm;
b). Bộ khuếch đại điện tích công nghiệp. (Courtesy of Kistler).

Bộ khuếch đại điện tích. Hình 5.85 minh họa các bộ khuếch đại điện tích dùng trong phòng thí nghiệm và trong công nghiệp. Bộ khuếch đại điện tích phòng thí nghiệm, hầu như dùng được cho các cảm biến dạng bất kỳ nào (bao gồm cả cảm biến lực và máy đo gia tốc) mà có đầu ra điện tích, có thể kết nối trực tiếp cảm biến với đầu vào khuếch đại. Bộ khuếch đại điện tích công nghiệp có hai dải phạm vi đo, có thể thực hiện chuyển mạch chọn phạm vi đo từ xa.

Về cơ bản, khuếch đại điện tích là bộ khuếch đại chuyển đổi điện áp có độ khuếch đại cao với trở kháng vào rất cao, được cấu hình như một bộ tích phân.

Hình 5.86 giới thiệu một chuỗi đo lường có bộ khuếch đại điện tích. Cảm biến được mô tả tương đương một nguồn dòng (nguồn điện tích) mắc song song với điện dung C_s và điện trở R_s của cảm biến. Các tính chất của đường cáp nối được mô tả tương đương tụ C_c và điện trở cách điện R_c . Bộ khuếch đại điện tích gồm bộ khuếch đại (có độ khuếch đại cao) và tụ điều chỉnh phạm vi đo C_r , điện trở hằng số thời gian R_f và chuyển mạch R/O (reset/operate).



Hình 5.86 – Chuỗi đo có khuếch đại điện tích.

Điện áp ra U_{out} thông dụng nhất là $\pm 10V$. Phạm vi điện dung C_r thường được chuyển mạch giữa 10 [pF] tới 100 [nF], cho phép thực hiện phép đo trong một khoảng điện tích rộng. Hằng số thời gian có thể bật chuyển mạch bằng điện trở R_f (thường là 1 [GΩ] tới 100 [GΩ]). Chuyển mạch R/O *Reset/Operate* cho phép đặt định điểm 0 của bộ khuếch đại điện tích.

Điện áp ra của một khuếch đại điện tích lý tưởng (độ khuếch đại mạch hở là vô tận, không dòng rò, không điện áp offset đầu vào), chỉ phụ thuộc vào điện tích được tạo ra và phạm vi điện dung, nơi mà trở kháng đầu vào không bị ảnh hưởng.

$$\text{Tín hiệu ra: } U_{out} = -Q/C_r ; \quad (5.35)'$$

$$\text{Tần số giới hạn thấp nhất (-3 dB): } f_l = 1/2\pi R_f C_r . \quad (5.36)$$

Nếu không chọn điện trở R , thì bộ khuếch đại điện tích hoạt động kiểu DC (khuếch đại dòng một chiều) và đặc tính trạng thái dừng sẽ được điều khiển bởi độ trôi.

Những quan hệ này là đúng cho phần lớn các ứng dụng. Trong một số trường hợp cực đoan, các tính chất của một bộ khuếch đại điện tích thực tế phải được tính toán như sau:

Giới hạn tần số trên: $f_u = (200 \dots 500) [kHz]$;

Khi hoạt động ở các tần số trên $100 [kHz]$, không thể tiếp tục bỏ qua trở kháng vào, bởi vì khi đó độ khuếch đại mạch hở của bộ khuếch đại phụ thuộc vào tần số.

Độ trôi bởi dòng rò: $I_L < 10 [fA]$ (đối với MOS-FET);
 $< 100 [fA]$ (đối với J-FET).

Dòng rò gây nên độ trôi điện áp ra, hậu quả là có thể làm bộ khuếch đại bị bão hòa. Điện tích phụ thuộc thời gian:

$$Q_L = I_L t; \quad (5.37)$$

tạo nên điện áp ra phụ thuộc thời gian:

$$U_{out}(t) = -I_L t / C_r. \quad (5.38)$$

Độ trôi bởi điện áp offset và trở kháng vào thấp: $U_{off} \approx$ vài $[mV]$.

Điện áp offset ở đầu vào khuếch đại tạo ra dòng:

$$I_d = U_{off} / (R_s \parallel R_c). \quad (5.39)$$

Bởi có dòng rò, dòng I_d có thể sẽ làm bộ khuếch đại bị bão hòa. Một số bộ khuếch đại điện tích có bộ quy 0 bên trong để giữ độ trôi ở mức rất nhỏ. Nếu trở kháng vào phải rất nhỏ (ví như trong phép đo ở nhiệt độ cao) thì việc bật điện trở hằng số thời gian R , hoặc mắc thêm một tụ ghép nối tiếp vào giữa cảm biến và bộ khuếch đại có thể

sẽ giải quyết được vấn đề độ trôi. Trong cả hai trường hợp, sẽ tăng được giới hạn tần số thấp f_l .

$$\text{Điện dung vào cao } (>1[\mu F]) : U_{out} = -\frac{Q}{C_r \left(1 + \frac{1}{A} + \frac{C_s + C_c}{A.C_r}\right)}. \quad (5.40)$$

Trong những ứng dụng cần phải dùng đường cáp dài, không thể bỏ qua điện dung của đường cáp, đặc biệt là nếu độ khuếch đại mạch hở của bộ khuếch đại cần phải rất cao. Kết quả là làm giảm tín hiệu ra.

Chuyển đổi trở kháng (điện kế tĩnh điện Electrometer). Chuyển đổi trở kháng bao gồm một vi mạch MOSFET có tính cách điện cao ($>10 [T\Omega]$) và dòng rò nhỏ làm việc với một transistor lưỡng cực có độ khuếch đại quy ước và điện trở ra nhỏ (cỡ $100[\Omega]$). Không như khuếch đại điện tích, đầu ra của bộ chuyển đổi trở kháng bị phụ thuộc bởi điện dung toàn phần đầu vào (hình 5.87):

$$U_{out} = -\frac{Q}{C_s + C_c + C_r + C_g}; \quad (5.41)$$

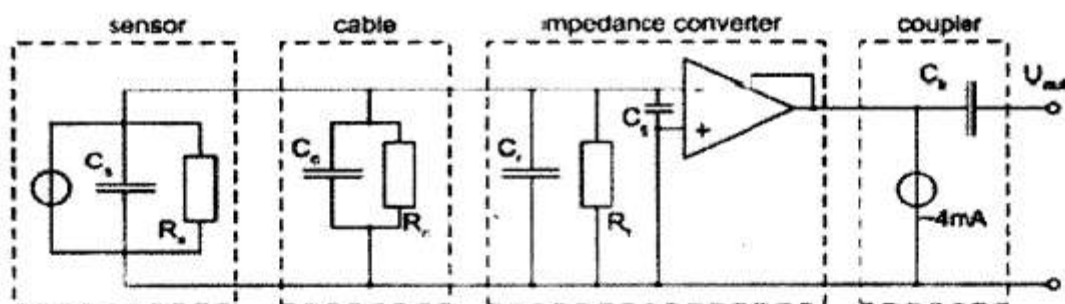
ở đây: C_g – điện dung của MOSFET.

Chuyển đổi trở kháng được cung cấp bằng một nguồn dòng hằng (bằng phương tiện gọi là mạch ghép *coupler*), tạo ra một điện áp offset ở đầu ra của bộ chuyển đổi. Ngoài việc cấp nguồn cho chuyển đổi trở kháng, mạch coupler còn phải tách tín hiệu đo khỏi điện áp offset.

Hằng số thời gian (giới hạn tần số thấp nhất) của hệ được tính bằng:

$$\tau = R_i.(C_i + C_r + C_c + C_x); \quad (5.42)$$

Giới hạn tần số trên được xác định bởi tần số tự nhiên của cảm biến.



Hình 5.87 – Chuỗi đo có bộ chuyển đổi trở kháng.

Trong hình 5.87, cảm biến được đặc trưng như một nguồn dòng (nguồn điện tích) mắc song song với tụ điện C_s và điện trở R_s . Các tính chất của đường cáp được mô tả bằng tụ điện C_c và điện trở cách điện R_c . Bộ chuyển đổi trở kháng bao gồm một bộ khuếch đại có hệ số khuếch đại thống nhất, có điện dung C_i điều chỉnh phạm vi đo và điện trở hằng số thời gian R_i . Mạch ghép cung cấp nguồn cho chuyển đổi trở kháng bằng một dòng hằng cỡ 4 [mA]. Tụ điện C_k tách tín hiệu đo khỏi điện áp offset.

Các bộ chuyển đổi trở kháng rất thông dụng trong các cảm biến với mạch điện tử tích hợp (các cảm biến có tín hiệu ra là điện áp hoặc các cảm biến trở kháng thấp). So sánh với bộ khuếch đại điện tích, thì các bộ chuyển đổi trở kháng là giải pháp có giá thành hiệu quả và thường thấy trong các ứng dụng công nghiệp. Ngược lại, bộ khuếch đại điện tích có tính linh hoạt cao hơn: điện áp ra không phụ thuộc điện dung đầu vào, điện áp ra tỷ lệ với tải trọng cung cấp, có thể dễ dàng chuyển mạch phạm vi áp suất đo, cho phép kết nối cảm biến bất kỳ vào cùng khối thiết bị.

Triệt nhiên. Các bộ khuếch đại điện tích đầu đơn *single-ended charge amplifiers* thường được sử dụng một cách thông dụng. Chúng có một tuyến chung *common path* cho tín hiệu của một trong các mặt cắt. Nhằm ngăn ngừa mạch khép vòng nối đất, hệ thống “cảm biến + bộ

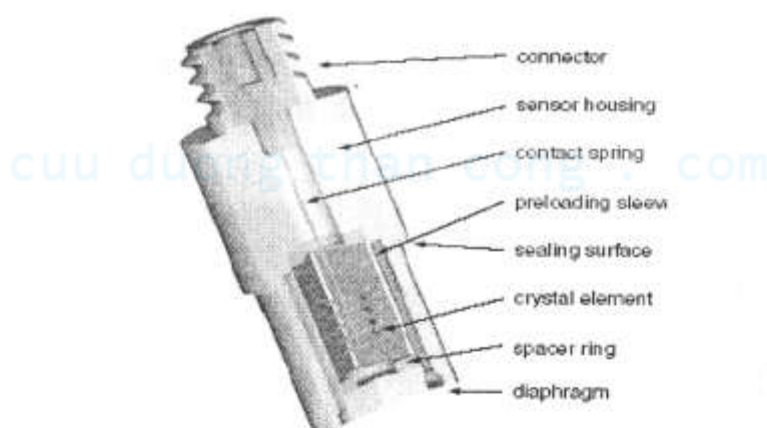
khuyếch đại” nên nối đất chỉ ở một điểm. Giải pháp này thường cho tỷ lệ tín hiệu–trên–nhiều tốt.

Đối với các phép đo tín hiệu mức thấp, khi hiện diện trường điện-từ mạnh hay khi cần đường cáp nối dài, có thể cần đến một bộ khuếch đại điện tích vi sai.

Về cơ bản, bộ khuếch đại điện tích vi sai tách khử những tín hiệu không mong muốn hiện diện trên cả hai vật dẫn (cách tách khử chung), vì chúng chỉ khuếch đại tín hiệu vi sai. Việc này đòi hỏi các cảm biến có điện dung cân bằng như nhau trên mỗi đường tín hiệu.

Kết cấu cảm biến và ứng dụng.

Thiết kế cơ bản.



Hình 5.88 – Kết cấu cơ bản một cảm biến áp suất ứng dụng tổng quát.

Vỏ bọc cảm biến. Vỏ bọc của cảm biến bảo vệ phần tử áp-điện chống lại độ ẩm và hiện tượng bám bẩn. Vỏ bọc cũng dùng làm một màn chắn điện chống nhiễu. Hơn nữa, nó cung cấp phương tiện lắp ráp và bọc kín cảm biến khỏi các ảnh hưởng áp suất môi trường ngoài. Diện bọc kín của cảm biến được thiết kế đáp ứng những yêu cầu ứng dụng đặc trưng. Chỉ có thể đáp ứng thoả mãn tất cả những yêu cầu này bằng cách dùng vỏ bọc bọc kín. Vật liệu vỏ bọc điển hình là thép không rỉ được gia cường độ cứng.

Ống bọc tải trọng sơ bộ. Việc đặt tải sơ bộ cho phần tử cảm biến đảm bảo độ tuyến tính tốt và độ nhạy ổn định suốt toàn bộ phạm vi hoạt động của cảm biến. Tải sơ bộ phải đảm bảo trên toàn bộ phạm vi nhiệt độ vận hành. Vỏ ống bọc tải sơ bộ có thể dày cỡ một phần mười millimet để tối ưu hoá độ mềm dẻo đàn hồi và giảm sự phân tán lực. Vật liệu của vỏ bọc tải sơ bộ thường được làm từ cùng loại vật liệu như vỏ bọc cảm biến. Không phải tất cả các cảm biến đều có vỏ bọc tải sơ bộ. Đôi khi, tải sơ bộ được cung cấp bởi chính màng ngăn diaphragm.

Màng ngăn Diaphragm. Diện tích tích cực của màng ngăn chuyển đổi áp suất thành lực tỷ lệ tác dụng lên phần tử đo. Lực này tạo ra một ứng suất trong tinh thể, ứng suất tạo ra một điện tích tỷ lệ. Ngày nay nhiều màng ngăn được hàn kín trong vỏ bọc cảm biến và được đặt tải sơ bộ nhẹ, hay được hàn vào mặt đầu của phần tử cảm biến. Màng ngăn là bộ phận quan trọng nhất của cảm biến áp suất. Nó xác định tính lâu bền của cảm biến và độ chính xác của phép đo. Nó phải không nhạy với những xung động nhiệt ngắn hạn (như ở các động cơ đốt trong) sao cho không gây nên sai số đo lường. Nhằm đạt được kết quả tốt, các màng ngăn phải được tối ưu hoá cho những ứng dụng khác nhau.

Đầu nối. Các đầu nối điện đối với các cảm biến áp-điện phải có điện trở cách điện rất cao. Tùy theo phạm vi nhiệt độ vận hành, chất cách điện được làm từ PTFE hay oxide nhôm.

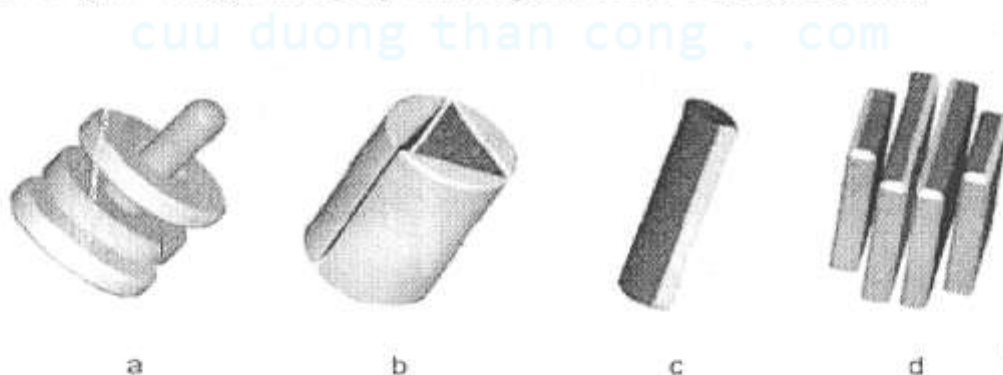
Vòng đệm. Vòng đệm này bù trừ sự khác biệt giữa sự nở nhiệt của tinh thể và vật liệu vỏ bọc tải sơ bộ. Bằng cách tính gần đúng kích thước và lựa chọn vật liệu, vòng đệm sẽ giảm thiểu một cách có hiệu quả ảnh hưởng nhiệt độ gây nên hiện tượng trôi tín hiệu đầu ra.

Phần tử tinh thể. Hình dạng và kích thước của tinh thể áp-điện biến thiên tùy theo thiết kế và ứng dụng của cảm biến. Ví dụ nêu trên hình 5.88 và 5.89b sử dụng một mẫu thiết kế có ba phần tử tinh thể với hiệu ứng ngang. Các bề mặt không chịu tải cơ học được bọc bằng kim

loại chân không và được cách điện với nhau để tạo thành các điện cực thu gom điện tích. Một lò xo hình xoắn ốc tiếp xúc với các bề mặt phẳng và mang điện tích tới đầu nối. Mặt hình trụ tiếp xúc với vỏ bọc tải sơ bộ.

Thiết kế phần tử cảm biến áp-điện. Ngày nay, các mẫu thiết kế phần tử cảm biến có thể thay đổi cơ bản để đáp ứng những yêu cầu đặc trưng như phạm vi áp suất, nhiệt độ vận hành và các nhận thức về môi trường.

Các đĩa mặt cắt tinh thể theo hiệu ứng dọc. Các phần tử cảm biến dùng các bản tấm này có thể bao gồm một hoặc vài tấm tinh thể (hình 5.89a). Độ nhạy của các phần tử tỷ lệ thuận với số tấm tinh thể được sử dụng. Hơn nữa, các tấm này không đòi hỏi bề mặt kim loại hóa. Điện tích được các điện cực thu gom trực tiếp từ bề mặt chịu tải. Những phần tử như vậy được sử dụng cho các cảm biến áp suất tần số cao (thời gian tăng trưởng áp suất ngắn) hoặc ở nhiệt độ cao.



Hình 5.89 – Thiết kế phần tử tinh thể vi sai:

a). mặt cắt dọc; b). c). và d). mặt cắt ngang.

Bộ mặt cắt tinh thể theo hiệu ứng ngang. Trong hiệu ứng ngang, lực tác dụng lên các mặt đầu và điện tích xuất hiện trên các bề mặt tinh thể không chịu tải trọng cơ học (hình 5.89b). Những mặt này được phủ kim loại và được cách điện với nhau. Tùy theo kích thước của chúng, một bộ ba tinh thể tạo ra điện tích bằng 5 đến 15 đĩa áp-

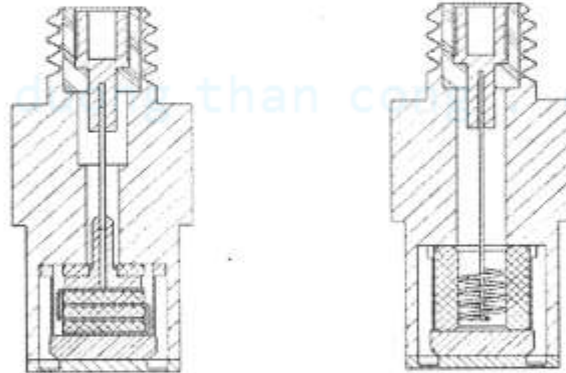
điện theo hiệu ứng dọc. Những phần tử này là lý tưởng đối với áp suất cỡ vừa và nhỏ, hoặc các cảm biến lực và có độ nhạy cao.

Mặt cắt tinh thể dạng thanh theo hiệu ứng ngang. Trong cấu trúc này (hình 5.89c), việc phủ kim loại các bề mặt không phải chịu tải mở rộng đến một trong các mặt đầu. Tinh thể kích cỡ nhỏ hơn, tạo ra một điện tích bằng 4 đến 6 đĩa áp-điện theo hiệu ứng dọc. Những tinh thể này cho phép thiết kế những mẫu phần tử cảm biến rất nhỏ.

Bộ bản tám tinh thể theo hiệu ứng ngang. Mỗi tấm trong số bốn tấm (hình 5.89d) cũng giống như thanh tinh thể mô tả ở trên. Cả bộ có độ nhạy xấp xỉ 7 đến 10 đĩa áp-điện theo hiệu ứng dọc. Tuy nhiên, với tấm có độ dày chỉ bằng vài phần mười millimet thì một vài tấm được dùng song song để tăng khả năng chịu tải. Cấu trúc này là lý tưởng cho những cảm biến rất nhỏ gọn.

Sensor with longitudinal crystal cuts

Sensor with transverse crystal cuts



Hình 5.90 – Các cảm biến đo áp suất tổng quát.

Trái: Mẫu thiết kế mặt cắt dọc (các đĩa tinh thể); Phải: Mẫu thiết kế mặt cắt ngang (các tấm tinh thể).

Các cảm biến tiêu chuẩn cho những ứng dụng tổng quát. Cả hai cảm biến trong hình 5.90 có cùng độ nhạy. Trong khi cảm biến bên trái dùng tinh thể theo hiệu ứng dọc và có tần số cộng hưởng cao (khoảng 300 kHz), thì cảm biến bên phải dùng tinh thể theo hiệu ứng ngang, và do đó về bản chất không nhạy với hiệu ứng sinh đôi tinh thể trong thạch anh. Có thể cắt tinh thể một cách nhất định theo các mặt cắt để tối ưu

hoá hệ số nhiệt độ của độ nhạy. Các cảm biến dùng hiệu ứng dọc của thạch anh không nên dùng cho những ứng dụng nhiệt độ cao.

Các nhà sản xuất cảm biến cung ứng một sự lựa chọn rộng rãi các phần cứng lắp ráp tùy chọn như các bộ phối hợp *adaptors*, kẹp nối *connecting nipples*, vv... Chúng cho phép một số kiểu cảm biến sử dụng được một cách hiệu quả đối với nhiều ứng dụng. Trong tình huống không gian hạn hẹp, các cảm biến có thể được lắp đặt trực tiếp mà không cần đầu phối hợp.

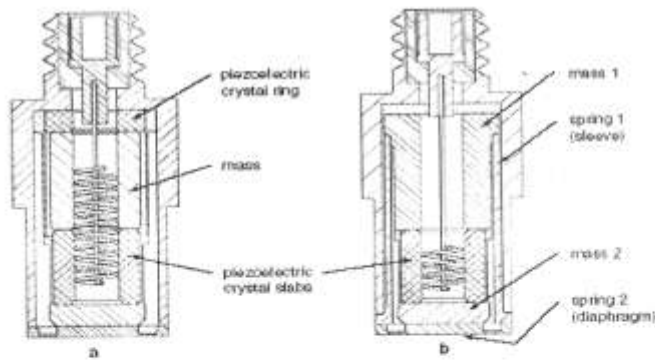
Các cảm biến có sẵn nhiều kích cỡ. Các phương án cỡ nhỏ có đường kính ngoài 6 [mm], cỡ lớn 11 [mm]. Trong khi các cảm biến cỡ nhỏ có độ nhạy 16 [pC/bar], cỡ lớn tạo ra 80 [pC/bar] với phạm vi đo từ 250 [bar] đến 1000 [bar]. Điều đáng lưu ý ở đây là các cảm biến áp-điện có phạm vi đo động rất rộng. Cùng một cảm biến có thể dùng cho phạm vi đo tỷ đối 1 [bar] cũng như cho toàn thang đo 1000 [bar].

Bù gia tốc. Mọi cảm biến áp suất đều nhạy với gia tốc, đặc biệt là gia tốc hướng trục. Trong môi trường có độ rung động lớn với mức áp suất nhỏ, gia tốc tạo ra tín hiệu có thể đạt tới vài *mbar/g*. Trong khi ở đa số các ứng dụng sai số gia tốc có thể bỏ qua, thì đối với những phép đo áp suất nhỏ trong môi trường có độ rung động lớn, nó có thể làm ngưng trệ phép đo. Trong những ứng dụng như vậy, (ví dụ thăm dò mức âm thanh hay trong âm học), nên dùng các cảm biến có bù trừ gia tốc.

Các cảm biến áp suất có bù trừ gia tốc có thể dùng các hiệu ứng tinh thể dọc hay ngang.

Mẫu thiết kế truyền thống.

cuu duong than cong . com



Hình 5.91 – Mẫu thiết kế cảm biến áp suất có bù trừ gia tốc:

a). Mẫu thiết kế truyền thống; b). Mẫu thiết kế mới.

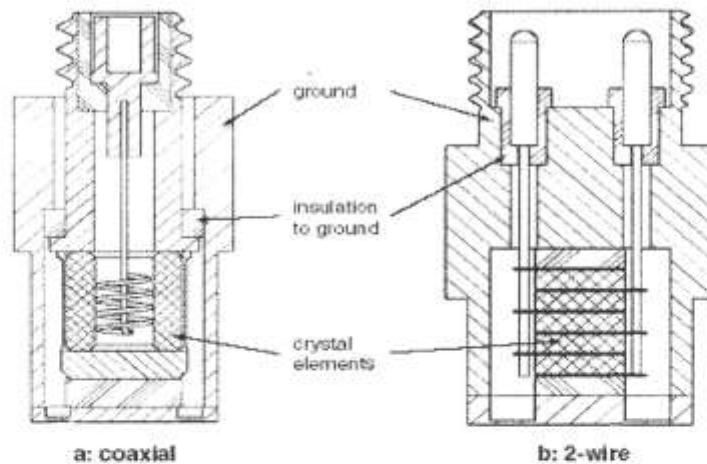
Trong hình 5.91a, lò xo hình xoắn ốc *helical-shaped spring* kết nối điện tích từ một bộ các tấm tinh thể xuống vỏ *mass*. Vòng tinh thể được lắp đặt ngược cực tính với hiệu ứng tinh thể ngang, do đó làm giảm độ nhạy áp suất của cảm biến. Khối vỏ bù được thiết kế kích thước sao cho vòng tinh thể tạo ra cùng tín hiệu nhưng ngược dấu tác động lên hiệu ứng ngang của tinh thể. Dưới tác động của gia tốc, hai tín hiệu có nguồn gốc từ hai bộ tinh thể sẽ loại trừ lẫn nhau. Sự bù trừ gia tốc gộp thêm tính phức hợp vào cảm biến, nhưng mẫu thiết kế ngày nay đạt được sự bù trừ gia tốc mà không cần có vòng tinh thể.

Mẫu thiết kế mới. Trong mẫu thiết kế mới (hình 5.91b) đã được cấp patent này, hai hệ lò xo dạng khối được điều chỉnh như nhau làm hạn chế các lực bất kỳ do gia tốc tạo ra tác dụng lên tinh thể. Độ nhạy rung động của những thiết kế này điển hình là nhỏ hơn $100[\mu \text{bar/g}]$.

Các cảm biến áp suất cách điện đối đất.

Các cảm biến cách điện đối đất giảm tiếng ù mạch tiếp địa khép vòng, tiếng ù sẽ tăng lên khi hiệu điện thế lớn xác lập giữa cảm biến và chuỗi đo (mạch điện tử). Việc này có thể xảy ra khi mạch điện tử và cảm biến được nối với nhau bằng đường cáp rất dài. Trong mẫu thiết kế có cáp đồng trục (hình 5.92a), màn chắn ngoài của cáp đồng trục không nối điện với vỏ cảm biến. Hệ 2-dây (hình 5.92b) đòi hỏi thiết kế vi sai các phần tử đo lường áp-điện và cũng cần có bộ

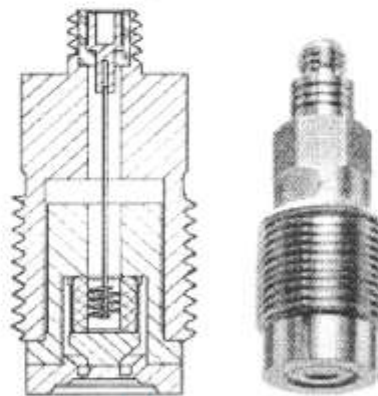
khuyết đại diện tích vì sai. Những cảm biến này ưu tiên dùng cho những ứng dụng nhiệt độ từ cao tới rất cao, trong các turbine khí, trong các ứng dụng hàng không và du hành vũ trụ. Đa số các cảm biến này cũng được bù trừ gia tốc.



Hình 5.92 – Các cảm biến cách điện đối đất:

a). Mẫu thiết kế cáp đồng trục; b). Mẫu thiết kế 2-dây.

Các cảm biến đo đạn đạo (áp suất cao ballistics).



Hình 5.93 – Mẫu thiết kế điển hình đối với cảm biến đạn đạo.

(Courtesy of Kistler).

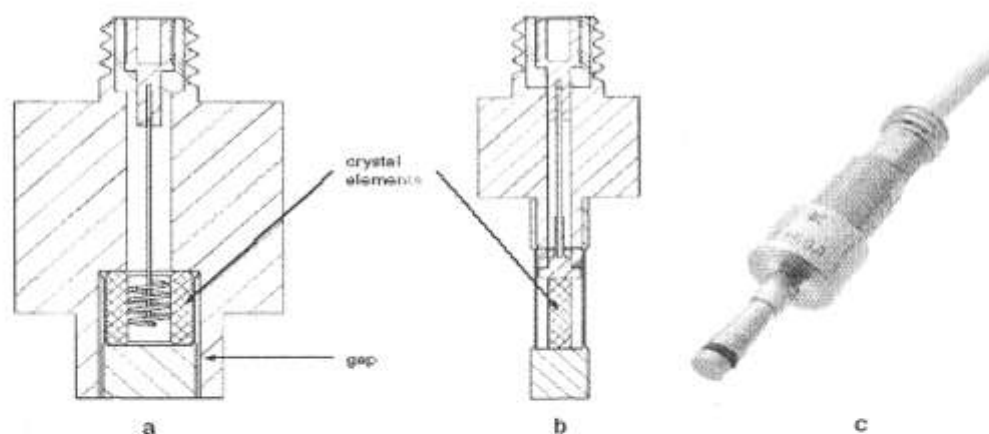
Các cảm biến lực, áp suất và gia tốc kiểu áp-điện đã được sử dụng nhiều năm cho các phép đo đạn đạo. Gần 40 năm trước, cảm

biến áp suất áp-điện đầu tiên dùng đo đạn đạo có một piston cơ khí thay vì màng ngăn. Các cảm biến này phải tháo rời và làm sạch sau mỗi lần bắn. Ngày nay, các cảm biến áp suất cao kiểu áp-điện được dùng rộng rãi toàn cầu để thử nghiệm, nghiệm thu đạn dược và phun bột. Các phép thử này đảm bảo rằng đạn dược đã trải qua những yêu cầu chặt chẽ về áp suất được đặc trưng bởi nhà sản xuất.

Ngày nay, các cảm biến được bao kín mặt trước đã thay thế các cảm biến được bọc vai. Hình 5.93 giới thiệu một cảm biến áp suất “chống biến dạng” có bọc mặt trước. Trong hình, đường ren tách biệt khỏi phần tử tinh thể (thiết kế chống biến dạng), sẵn có các ren M10 và M12. Thiết kế này hạn chế các sai số đo gây nên bởi biến dạng cơ học do lắp ráp tạo ra. Hơn nữa, thiết kế chống biến dạng cũng hạn chế biến thiên độ nhạy bởi biến thiên moment xoắn lắp ráp. Phạm vi đo đối với các cảm biến đạn đạo áp suất cao từ 5000 [bar] đến 10.000 [bar] với độ tuyến tính nhỏ hơn $\pm 5\%$ toàn thang đo với độ ổn định độ nhạy lâu bền tuyệt vời. Kỳ vọng tuổi thọ là vài ngàn chu kỳ áp suất. Như với các cảm biến áp-điện bất kỳ, cảm biến áp suất đạn đạo cùng kiểu có khả năng đo từ vài trăm bar đến 10 nghìn bar.

Các thiết kế kiểu cũ đòi hỏi cung cấp một cách định kỳ một lớp mỡ bảo vệ cho màng ngăn để chống lại các chất khí nóng. Các thiết kế cảm biến mới có khả năng đo một cách chính xác với kỳ vọng tuổi thọ tuyệt vời mà không cần lớp phủ bảo vệ.

Cảm biến áp suất dạng hốc *Cavity*. Việc đo áp suất hốc trong các khuôn đúc máy phun chất dẻo làm tăng chất lượng và giảm thời gian chu kỳ sản phẩm. Việc tối ưu hoá quá trình này đảm bảo rằng các bộ phận thành phần có trọng lượng không đổi và giữ được kích thước ổn định. Việc kiểm tra liên tục các dạng áp suất trong quá trình đúc khuôn làm tăng hiệu suất bởi giảm giá thành sản phẩm.



Hình 5.94 – Các cảm biến đo áp suất hốc:

a). đường kính mặt trước 6 mm;

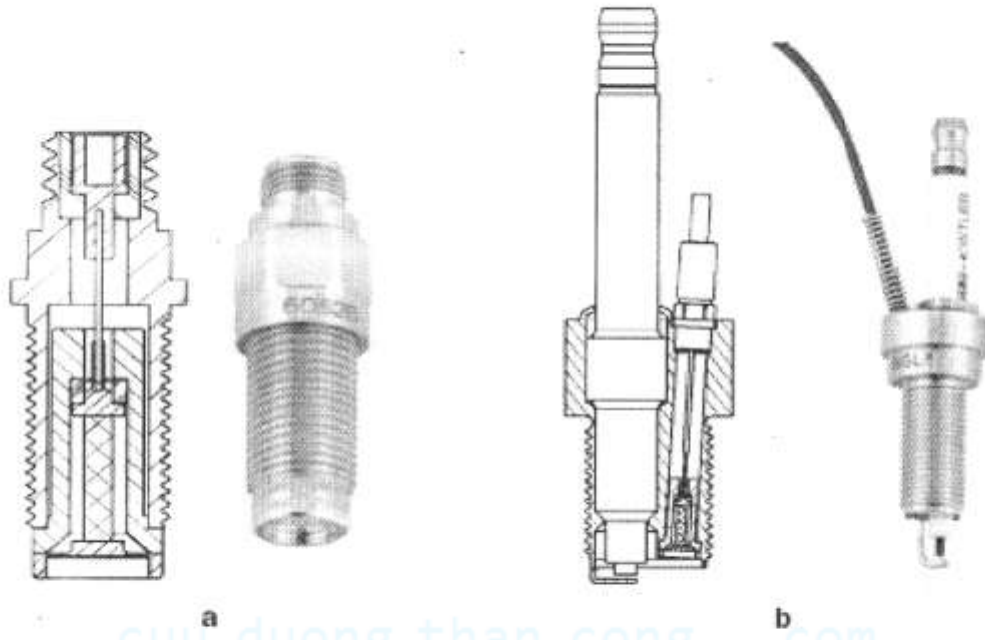
b). và c). đường kính mặt trước 2,5 mm. (Courtesy of Kistler).

Các cảm biến áp suất chuyên dụng đã được phát triển cho những ứng dụng này. Ngược với những cảm biến quy ước, chúng không có màng ngăn (hình 5.94). Khi vật liệu chất dẻo nóng tiếp xúc với hốc khuôn đúc tương đối nguội, chất dẻo lập tức hình thành một lớp vỏ da có tác dụng như màng ngăn, do đó ngăn vật liệu nóng khỏi xâm nhập ít nhất là 0,03-mm bề rộng khe hở giữa phần tử đo và khuôn đúc. Điều này cho phép không phải dùng màng ngăn, màng ngăn trong trường hợp này sẽ hạn chế tuổi thọ kỳ vọng của cảm biến. Hơn nữa, mặt đầu của các cảm biến này có thể được tạo dáng phù hợp với bề mặt khuôn đúc.

Nhiều cảm biến được lắp ráp trực tiếp vào khuôn đúc mà không cần có thêm tay bọc *protective sleeve* bảo vệ. Điều này giảm kích thước của cảm biến, làm nó phù hợp trong các khuôn dùng các bộ phận thành phần rất nhỏ. Các cảm biến lắp ráp trực tiếp có đường kính điển hình là từ 4 tới 8 [mm] (hình 5.95a), cái nhỏ nhất chỉ có đường kính 1[mm].

Các cảm biến áp suất dạng hốc hoạt động tin cậy ở nhiệt độ tới 200 °C. Mặc dù nhiệt độ khuôn đúc hạn chế tính năng của cảm biến, nhiệt độ đúc thực tế của vật liệu có thể lớn hơn (400 °C). Phần lớn các

cảm biến có kèm theo một vòng tích hợp dạng chữ O để giảm bám bẩn (thường đọng giữa phần tử cảm biến và khuôn), nhưng đó không phải biện pháp thiết thực cho cảm biến vận hành đúng cách.



Hình 5.95 – a). Cảm biến áp suất cháy có đầu ren lắp ráp M5. (Courtesy of Kistler); b). Cảm biến áp suất nhỏ có tích hợp đầu cực đánh lửa M12. (Courtesy of Kistler).

Các cảm biến cho động cơ đốt trong. Các cảm biến áp suất kiểu áp-điện được dùng từ rất sớm vào phép đo áp suất cháy *combustion pressure* trong động cơ đốt trong. Ngày nay, phần lớn các cảm biến áp suất kiểu áp điện được dùng trong các động cơ ô tô cải tiến. Các cảm biến mới đang được phát triển liên tục để đáp ứng những nhu cầu cao hơn đối với các động cơ nhỏ gọn hơn mà độ chính xác lại cao hơn.

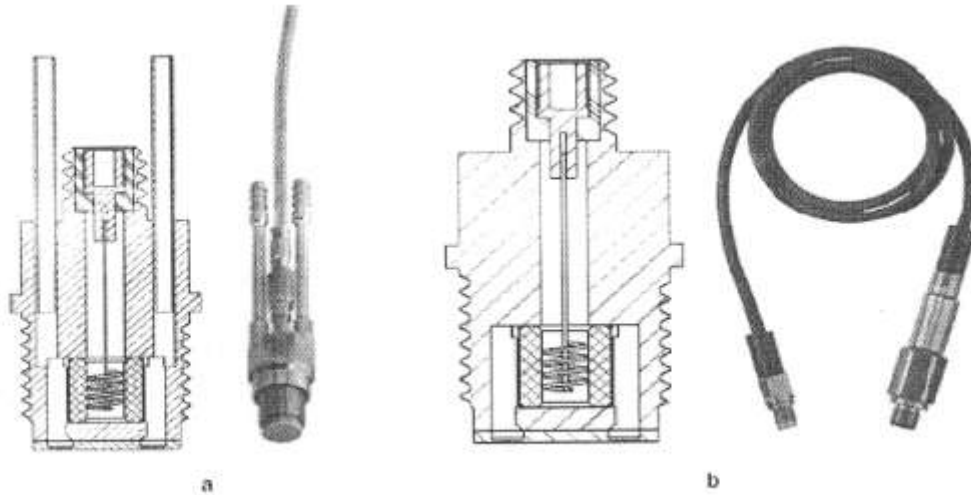
Nhiệt độ làm việc điển hình biên thiên trong khoảng từ 150 đến 350° C tùy theo vị trí đo và các điều kiện thử nghiệm. Tuy nhiên, nhiệt độ màng ngăn có thể cao hơn nhiều. Màng ngăn bị tiếp xúc trực tiếp với các chất khí cháy nóng một cách tuần hoàn chu kỳ, nhiệt độ xấp xỉ

2.500° C. Các mẫu thiết kế và vật liệu màng ngăn đặc biệt giảm thiểu được sai số đo do nhiệt và đảm bảo chu kỳ tuổi thọ lâu bền. Việc đáp ứng các yêu cầu này đặt ra những thách thức đặc biệt đối với những mẫu thiết kế màng ngăn và với yêu cầu các cảm biến phải được tối ưu hoá cho những ứng dụng đặc biệt.

Các động cơ đốt trong ngày nay trở nên nhỏ gọn hơn và có bốn hay nhiều valve cho mỗi cylinder. Điều này làm hạn chế khoảng không dành cho cảm biến áp suất cháy. Các cảm biến có đường ren lắp ráp M5 với đường kính mặt đầu 4 [mm] làm cho cách lắp đặt này khả thi (hình 5.95a). Đối với các ứng dụng trong không gian bó hẹp hơn, các cảm biến có thể tích hợp trực tiếp thành các đầu cực đánh lửa *spark plugs* và đầu cực phát sáng *glow plugs* được thiết kế đặc biệt (hình 5.95b).

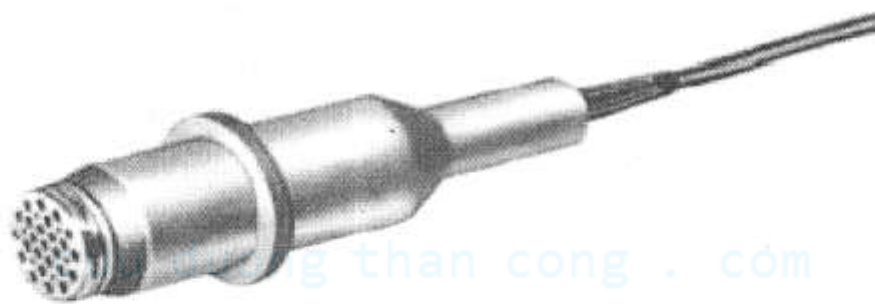
Các cảm biến được làm lạnh bằng nước tăng cường độ ổn định điểm 0 zero (hình 5.96a). Ban đầu, có nhu cầu nước làm lạnh cảm biến để bảo vệ cảm biến khỏi nhiệt độ cao của động cơ đốt trong. Cảm biến làm lạnh bằng nước nhỏ nhất hiện nay có một đầu ren lắp ráp M8. Các cảm biến hiện đại có thể sử dụng mà không cần nước làm lạnh, do đó sẽ không bị hư hỏng nếu vì một lý do nào đó mà việc làm lạnh bị ngưng.

Để kiểm tra các động cơ diesel và các động cơ chất khí cho các trạm năng lượng và tàu thuyền, người ta dùng các cảm biến áp suất không phải làm lạnh, và mạnh chắc *robust*. Những cảm biến này được thiết kế để vận hành liên tục và có tuổi thọ lâu bền (hình 5.96b). Thông thường, các hệ đo lường bao gồm một bộ khuếch đại điện tích được tích hợp bên trong làm theo đơn đặt hàng cho những ứng dụng đặc biệt.



Hình 5.96 – a). Cảm biến áp suất làm lạnh bằng nước M8 kiểm tra động cơ đốt trong. b). Cảm biến Robust không làm lạnh M10.
(Courtesy of Kistler).

Cảm biến áp suất nhiệt độ cao. Các nhà sản xuất turbine khí cần các cảm biến áp suất nhiệt độ cao có khả năng làm việc ở nhiệt độ hơn 400°C để kiểm tra những xung động nhỏ của áp suất cháy nổ. Sản có các cảm biến làm việc tới 650°C với phạm vi áp suất từ $0 \dots 250$ [bar] (hình 5.97). Để có thể chịu được nhiệt độ cao như vậy, bộ phận cảm biến được làm bằng một đĩa tourmaline và cảm biến được làm vừa khít với một đường cáp hai dây có cách điện bằng chất khoáng. Thiết kế cảm biến tương tự như hình 5.92b.



Hình 5.97 – Bộ biến cảm làm việc với nhiệt độ tới 650°C (Courtesy of Vibro-Meter SA.).

Lựa chọn cảm biến.

Các nhà sản xuất cảm biến có thể giúp người sử dụng tìm được cảm biến thích hợp nhất cho ứng dụng của mình. Ngày nay bản kê dữ liệu sẵn có trên Internet và cùng với những chức năng tìm kiếm hoặc những công cụ định hướng ứng dụng, hỗ trợ rất nhiều cho việc tìm kiếm một cảm biến đúng. Dưới đây liệt kê những thông tin cảm biến thích hợp và những thuộc tính điện tử cần biết, trước khi bắt đầu cuộc tìm kiếm.

Cảm biến.

Phạm vi áp suất – áp suất tối đa mà cảm biến sẽ phải đo.

Phạm vi hiệu chuẩn từng phần – có ích đối với những phép đo trong phạm vi áp suất nhỏ. Lưu ý rằng các cảm biến áp-điện đưa ra vài dải *decades* phạm vi đo mà không bị mất độ chính xác.

Quá tải – áp suất tối đa mà cảm biến phải chịu đựng được.

Tần số tự nhiên – nó xác định giới hạn tần số trên của tín hiệu áp suất động học.

Độ nhạy – độ nhạy của cảm biến (thường được tính bằng [*pC/bar*] hay [*mV/bar*]).

Trôi nhiệt của độ nhạy – sự biến thiên độ nhạy như là hàm của nhiệt độ.

Độ tuyến tính – thường tính bằng $\pm \%FS$ (toàn thang đo *Full Scale*). Độ sai lệch so với quan hệ tuyến tính thực giữa tín hiệu ra và áp suất.

Độ trễ – thường tính bằng $\%FS$. Sự sai biệt tín hiệu đầu ra khi tác động cùng áp suất tăng rồi giảm liên tiếp.

Điện trở cách điện – một cảm biến có các thuộc tính cách điện tốt sẽ cho phép thực hiện những phép đo xuống đến cỡ [*mHz*]. Lưu ý rằng độ cách điện của cảm biến giảm khi nhiệt độ tăng.

Phạm vi nhiệt độ – nhiệt độ làm việc tối đa và tối thiểu. Nếu nhiệt độ vượt quá 300°C , thì phải chú ý đặc biệt đến đầu nối và cáp điện.

Kích thước cảm biến – các kích thước lớn nhất cho phép của một cảm biến (lỗ lắp ráp).

Độ kháng va đập – độ kháng cự va đập lớn nhất (thường tính bằng [g]).

Độ nhạy gia tốc – đề cập đến nó là thích hợp nếu cảm biến được lắp ráp trên một cấu trúc vốn rung động (ví dụ động cơ). Phân biệt độ nhạy gia tốc hướng trục và hướng tâm.

Shock nhiệt – biến động tín hiệu ra (thường tính bằng [bar]) bởi shock nhiệt trên cảm biến. Quan trọng trong những phép đo động cơ đốt trong.

Môi trường – thông thường các cảm biến được bọc kín bằng vỏ bọc thép không rỉ. Tuy nhiên cần chú ý đặc biệt nếu anh định dùng cảm biến trong những môi trường có tính chất ăn mòn và mài mòn, hoặc nếu cảm biến sẽ bị chiếu bức xạ hạt nhân.

Đầu nối và đường cáp – các cáp đồng trục độ nhiễu thấp (đầu ra là điện tích), cáp đồng trục tiêu chuẩn (đầu ra là điện áp). Các ứng dụng nhiệt độ cao ($>300^{\circ}\text{C}$) đòi hỏi đường cáp và đầu nối đặc biệt.

Đầu ra cảm biến – tín hiệu ra là điện tích hay điện áp. Có thể nhận được điện áp ra bằng cách tích hợp trong cảm biến một mạch điện tử. Ưu điểm là như vậy không cần bộ phận điện tử nào phụ thêm (bộ khuếch đại điện tích), nhưng tính linh hoạt bị giảm nhiều, bởi chỉ có sẵn một phạm vi thang đo và một hằng số thời gian. Nhiệt độ bị hạn chế khoảng 150°C . duongthancong.com

Giới hạn tần số thấp hơn phụ thuộc về cơ bản ở phạm vi điều chỉnh trị số điện dung và điện trở. Giả sử hệ thống có cấu hình sau:

Độ nhạy của cảm biến áp suất: $20 [pC/bar]$;

Phạm vi áp suất: $200 [bar]$;

Đầu ra toàn thang đo: 10 [V].

Trước tiên phải chọn phạm vi điện dung. Độ nhạy đầu ra (độ nhạy của bộ khuếch đại điện tích) được cho bằng:

$$20[pC / bar].20[bar] / 10[V] = 400[pC / V]. \quad (5.43)$$

Đó cũng là trị số lý thuyết của điện dung $C_r = 400 [pF]$. Tất nhiên, thực tế không có khả năng cấu hình một bộ khuếch đại điện tích với hàng ngàn trị số điện dung, mà chỉ với 4 hay 5 dải điện dung nhất định (nói ví dụ: 100 pF, 1, 10, 100 nF, ...). Trong ví dụ cụ thể này, phạm vi điện dung hiệu dụng là trị điện dung lớn nhất trong chuỗi số tiếp theo trị số lý thuyết vừa tính được, tức là 1 [nF].

Ở kiểu điện xoay chiều AC, hằng số thời gian τ phụ thuộc vào tích số $R_r.C_r$. Giả thiết rằng $R_r = 100[G\Omega]$, hằng số thời gian sẽ bằng:

$$\tau = R_r.C_r = 100[s]; \quad (5.44)$$

Và giới hạn tần số thấp nhất (giảm 3dB biên độ sóng sin) được tính ra tương đương:

$$f_l = 1 / 2.\pi.\tau = 1,6[mHz]. \quad (5.45)$$

Ở kiểu điện một chiều DC, không có điện trở R_r và các đặc tính cảm biến dài hạn được điều khiển bởi độ trôi. Việc giả thiết một điện áp offset U_{off} cỡ 5 [mV] ở tầng đầu vào của bộ khuếch đại điện tích và độ cách điện của cảm biến cỡ 10 [TΩ], độ trôi sẽ bằng:

$$5[mV] / 10^{13}[\Omega] / 1[nF] = 0,5[\mu V / s]; \text{ có thể bỏ qua.} \quad (5.46)$$

Ở nhiệt độ cao hơn, không còn có thể bỏ qua độ trôi được nữa. Ở 400° C, cách điện của cảm biến rớt xuống còn 10⁷ [Ω], tạo ra độ trôi cỡ 500 [mV/s] ở đầu ra. Nếu không chuyển mạch điện trở hằng số thời gian thì bộ khuếch đại điện tích sẽ bão hoà, chậm nhất là 20[s] sau ! Một cách khác để hạn chế độ trôi là mắc nối tiếp tụ điện C_D rất lớn vào giữa cảm biến và bộ khuếch đại điện tích (tụ ghép nối). Trong

trường hợp đó, không xảy ra hiện tượng trôi và hằng số thời gian bấy giờ được xác định bởi $R_s.C_D$.

Các bộ phận điện tử.

Mạch điện tử tích hợp – cung cấp một giải pháp giá thành hiệu quả cho những ứng dụng đòi hỏi những thay đổi rất ít trong cách đặt định biến cảm. Bị giới hạn nhiệt độ làm việc dưới 150°C .

Bộ khuếch đại điện tích – cung cấp độ linh hoạt cao nhất, vì có thể khai thác toàn bộ phạm vi áp suất của cảm biến và có thể điều chỉnh hằng số thời gian. Hơn nữa, đầu ra không phụ thuộc ở điện dung đầu vào.

Bộ chuyển đổi trở kháng – là lựa chọn giá thành hiệu quả, khác với cách chọn bộ khuếch đại điện tích. Tuy nhiên, đầu ra phụ thuộc điện dung đầu vào (điện dung cáp nối) và nói chung có khả năng chuẩn hoá tín hiệu hạn chế hơn.

Khuếch đại điện tích vi sai – dành cho những ứng dụng với các tín hiệu nhỏ trong môi trường rất nhiễu.

Những phát triển mới và triển vọng. Sự phát triển ngày nay chủ yếu dẫn tới hai yếu tố: tế vi hóa và nhiệt độ cao. Hai yếu tố này đã thúc đẩy việc nghiên cứu những vật liệu áp-điện mới với những tính chất tốt hơn: độ nhạy cao và độ ổn định tốt ở nhiệt độ cao ($>300^\circ\text{C}$). Như là hệ quả, vật liệu mới thuộc về nhóm CGG đang thay thế các vật liệu tiêu chuẩn (thạch anh và tourmaline) trong các cảm biến tế vi hay trong các cảm biến nhiệt độ cao.

Tế vi hoá. Các cảm biến phải nhỏ gọn hơn. Đó là hệ quả của xu hướng quan sát được trong nhiều lĩnh vực ứng dụng. Ví dụ, các động cơ ngày càng nhỏ gọn, đòi hỏi các cảm biến có đường kính cỡ M5 và nhỏ hơn. Trong công nghệ đúc khuôn các chất dẻo, ngày nay thông dụng các cảm biến có đường kính 2,5 [mm] dành cho những phép đo tới 2.000 [bar]. Giảm thiểu kích thước cảm biến là một quá trình đầy thách thức. Ngoài những khó khăn trong sản xuất các bộ phận thành

phần cảm biến nhỏ gọn, vẫn còn vấn đề độ nhạy giảm tỷ lệ với kích thước màng ngăn. Tương ứng, việc tiết giảm đường kính cảm biến (màng ngăn diaphragm) xuống còn một nửa thì độ nhạy tụt xuống còn một phần tư. Có thể khắc phục được vấn đề này bằng cách cắt bản tinh thể rất mỏng và dùng hệ số hình dạng trong các mẫu thiết kế tinh thể theo hiệu ứng ngang để có được độ nhạy hoặc/và bằng cách sử dụng những vật liệu có độ nhạy cao hơn.

Nhiệt độ cao. Các cảm biến áp suất tiêu chuẩn ngày nay có thể hoạt động tới 350°C . Vượt quá ngưỡng nhiệt độ này nhiều vấn đề phải vượt qua: phần tử áp-điện phải ổn định mà vẫn giữ được độ cách điện cao, có thể tránh ăn mòn bằng cách dùng các hợp kim dựa trên nickel (nhưng chúng khó gia công trên máy, hay khó hàn), dây cáp quy ước phải được thay thế bằng cáp kim loại tích hợp, vv... Tất nhiên, cảm biến phải chịu được những nhiệt độ cao này thường xuyên, qua hàng ngàn giờ, vì máy móc (ví như turbine) không thể lúc nào muốn thì ngừng (để thay thế cảm biến bị hư hỏng). Một số nhà sản xuất chào hàng những cảm biến hoạt động tới 600 hay 700°C , dựa trên cơ sở tourmaline, lithium niobate hoặc piezoceramics nhiệt độ cao.

Bản kê dữ liệu kỹ thuật (chứng chỉ) cảm biến. Mỗi cảm biến được hiệu chuẩn bởi nhà sản xuất và xuất xưởng với cái gọi là bản kê thông số hiệu chuẩn. Trước khi sử dụng cảm biến, người vận hành phải bắt đầu hiệu chỉnh độ nhạy của cảm biến trong bộ khuếch đại điện tích. Đối với những ứng dụng đòi hỏi nhiều cảm biến, thì đó có thể là một công việc buồn tẻ và dễ mắc sai sót. Chứng chỉ cảm biến, kèm theo cơ sở dữ liệu bao gồm tất cả những thông tin cần thiết (mã danh ID, mức trôi độ nhạy theo nhiệt độ, vv ...) bây giờ đã trở thành sẵn có và hỗ trợ lớn cho việc thực thi một số lượng lớn cảm biến. Một cách là tích hợp một TEDS (*Transducer Electronic Data Sheet*, tương ứng IEEE 1451.4 Standard -) dạng chip vi mạch, vào cảm biến hoặc trong đầu nối của nó. Khi cắm cảm biến vào bộ khuếch đại điện tích, thì dữ liệu được đọc từ TEDS và bộ khuếch đại điện tích tự động điều chỉnh các

thông số của nó phù hợp với độ nhạy của cảm biến. TEDS có thể viết lại, theo những biến thái tuần tự hoặc những phối hợp tương thích thuộc tính của cảm biến.

Một cách khác, là tích hợp một chip ID (ví dụ một bảng dấu mã hoá sóng âm bề mặt SAW *surface acoustic wave*) vào cảm biến. Bộ khuếch đại điện tích nhận dạng cảm biến và có thể nhận những thông tin tin cậy trong cơ sở dữ liệu, được cung cấp từ mạng kết nối với một máy tính PC.



cuu duong than cong . com

cuu duong than cong . com

BÀI 9

KỸ THUẬT CẢM BIẾN LƯU LƯỢNG CHẤT LƯU

CHƯƠNG 6. CẢM BIẾN LƯU LƯỢNG, MỨC VÀ ĐỘ ẨM

PHẦN 1

Mục tiêu bài này tập trung vào những khái niệm cơ bản và kỹ thuật cảm biến lưu lượng các chất lỏng và khí (lưu chất) (phần 1); các ứng dụng trong kỹ thuật đo lường và điều khiển – chương 6.

Nội dung cơ bản mà SV phải nắm được ở bài này là những vấn đề trọng tâm sau:

- Khái niệm đại cương về lưu lượng chất lưu (chất lỏng và chất khí), những đặc điểm kỹ thuật xác định chúng. Các loại phần tử cảm biến lưu lượng và máy đo lưu lượng ứng dụng trong kỹ thuật đo lường điều khiển, kết cấu, hoạt động chức năng, các đặc tính kỹ thuật, đặc điểm ứng dụng.
- Các vấn đề ứng dụng thực tiễn các phần tử cảm biến trong công nghiệp để có nhận thức và kỹ năng tổng hợp, thiết kế và chế tạo hệ thống cụ thể trong thực tế môi trường ứng dụng.
- Bài 9 tập trung trọng tâm là kỹ thuật cảm biến lưu lượng chất lỏng và khí (phần 1) bằng các phần tử cảm biến ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp và dân dụng.

Thời lượng bài giảng là 04 tiết/45 tiết lên lớp theo chương trình môn học là 03TC (45 tiết) và 04 tiết tự nghiên cứu.

Khái niệm chung.

Đại cương về cơ lưu chất và lưu lượng.

Chất lưu (hay lưu chất) là tên gọi chung chất lỏng và khí. Cơ lưu chất là bộ phận của cơ học nghiên cứu chuyển động của các môi

trường lỏng và khí và tương tác của chúng với các vật rắn có biên giới chung. Trong cơ học chất lưu, cấu trúc phân tử thực của các chất lỏng và khí được thay thế bằng khái niệm lý tưởng hóa về một môi trường vật chất có hai tính chất cơ bản: tính liên tục và tính linh động (tính chảy).

Lưu lượng là lượng chất lỏng hay chất khí chảy qua tiết diện ngang của dòng trong một đơn vị thời gian. Lưu lượng có thể đo bằng $[kg/s]$ nếu tính theo khối lượng chất (lưu lượng thể khối), hoặc bằng $[m^3/s]$ nếu tính theo thể tích (lưu lượng thể tích) của lưu chất (lỏng, khí hay hơi) lưu thông qua đường ống dẫn. Nếu tính theo thể tích thì lưu lượng Q bằng:

$$Q = v.S; \quad (6.1)$$

trong đó v là vận tốc chất lỏng tại tiết diện đang xét và S là diện tích tiết diện của dòng chảy. Nếu chất lỏng chảy theo ống và không chịu nén thì lưu lượng Q là không đổi ở mọi tiết diện.

Lưu lượng chất (ký hiệu ở đây là Q , $[m^3/s]$, $[m^3/h]$ hay $[kg/s]$, $[tấn/h]$). Khối lượng chất (ký hiệu m , đơn vị đo là $[m^3]$, $[lít]$ hay $[kg]$) và thể tích chất (ký hiệu V , tính bằng $[m^3]$) ở đây được hiểu là lượng vật chất lưu thông qua máy đo lưu lượng (lưu lượng kế, công-tơ) trong một khoảng thời gian Δt nào đó, tính bằng giây $[s]$ hay giờ $[h]$.

Máy đo lưu lượng chất lưu thông qua đường dẫn được gọi là lưu lượng kế hay công-tơ lưu lượng, chỉ thị lưu lượng trung bình chảy trong một khoảng thời gian (tức trị hiệu dụng hay trị trung bình tích phân). Máy đo có hằng số công-tơ là q_v – xác định lượng chất qua máy đo ứng với một chữ số chỉ thị máy.

Số đo của các máy đo lưu lượng phụ thuộc nhiều vào các tính chất hoá/lý của lưu chất ở trạng thái môi trường đo, thường phải được quy đổi về điều kiện tiêu chuẩn:

- nhiệt độ đo $T^{\circ}C = 20[^{\circ}C]$;

- áp suất khí quyển $P=101325 [Pa]= 760 [mm \text{ thủy ngân}]$;
- độ ẩm tương đối $RH\%=0(\%)$. (6.2)

Các cảm biến lưu lượng được ứng dụng nhiều trong đo lường kiểm tra và điều khiển, đo lưu lượng của cả chất lỏng và chất khí. Có nhiều cách xác định lưu lượng dòng chảy (lưu lượng thể khối *mass flow*, lưu lượng thể tích *volume flow*, lưu lượng chảy lớp (tầng) *laminar flow*, lưu lượng chảy rối *turbulent flow*). Thông thường số lượng lưu chất (lưu lượng thể khối) là quan trọng nhất, và nếu mật độ chất lỏng là không đổi, thì phép đo lưu lượng thể tích là cách thay thế tốt nhất cho phép đo lưu lượng thể khối, nói chung dễ thực hiện hơn. Ngày nay có khá nhiều công nghệ và các kiểu dạng cảm biến dành cho mục tiêu này. Một số công nghệ áp dụng được cho cả các phép đo lưu lượng chất lỏng lẫn của chất khí, vì nguyên lý hoạt động đều như nhau trong cả hai trường hợp. Các công nghệ khác chỉ đặc trưng cho lưu lượng chất khí hay lưu lượng chất lỏng mà thôi. Trong chương này ta sẽ bàn thảo một số kỹ thuật thường dùng nhất để đo lưu lượng của cả chất lỏng và chất khí. Phần bổ sung cho phép đo lưu lượng là phép đo mức, và ở một phương diện nào đó là cả phép đo độ ẩm. Các quá trình đo lường này đều nổi bật là khá phức tạp.

6.1 Cảm biến đo lưu lượng.

Phương pháp điển hình xác định lưu lượng dòng chảy là trước tiên đo tốc độ chất lỏng chảy qua một đường ống, một đoạn ống dẫn, hoặc các cấu trúc khác, rồi nhân với diện tích mặt cắt tại điểm đo.

Các phương pháp đo lưu lượng chất khí bao gồm:

- Phong vũ biểu nhiệt *thermal anemometers*,
- Hệ đo áp suất vi sai, và:
- Cảm biến chảy xoáy *vortex sheading sensors*.

Các phương pháp đo lưu lượng chất lỏng bao gồm:

- Hệ đo áp suất vi sai,

- Cảm biến chảy xoáy,
- Cảm biến lưu lượng chuyển dịch tích cực,
- Cảm biến lưu lượng kiểu turbine,
- Cảm biến lưu lượng kiểu từ trường, và:
- Cảm biến lưu lượng kiểu siêu âm.

Trên cơ sở các phương pháp đo này phổ biến các loại máy đo lưu lượng sau:

- Theo nguyên lý cảm biến khối lượng thể tích:
 - Cảm biến lưu lượng thể tích chuyển dịch tích cực: máy đo lưu lượng thể tích (thường gọi *công-tơ thể tích*);
 - Cảm biến lưu lượng thể khối: máy đo tốc độ chuyển dịch thể khối lưu chất (thường gọi *công-tơ tốc độ* hay *công-tơ tuabin*).
- Theo nguyên lý thay đổi độ giảm áp trong đường lưu thông:
 - Hệ cảm biến áp suất vi sai: lưu lượng kế kiểu biến đổi áp suất;
 - Cảm biến chảy xoáy: lưu lượng kế Reynol nhỏ, lưu lượng kế mao dẫn.
- Theo nguyên lý biến đổi điện:
 - Cảm biến lưu lượng kiểu từ trường: lưu lượng kế từ -điện.
 - Cảm biến lưu lượng kiểu siêu âm: lưu lượng kế siêu âm.
 - Cảm biến lưu lượng theo hiệu ứng laser Doppler: lưu lượng kế LDA.

6.1.1 Phong vũ biểu nhiệt *Thermal Anemometer*.

Các phong vũ biểu nhiệt sử dụng nguyên lý: nhiệt lượng của một cảm biến đã được nung nóng bị dòng chất lỏng chảy qua lấy đi có liên quan với vận tốc dòng chảy đó. Điểm đặc trưng trong phương pháp này là có sử dụng cảm biến thứ hai, cảm biến nhiệt độ không bị nung

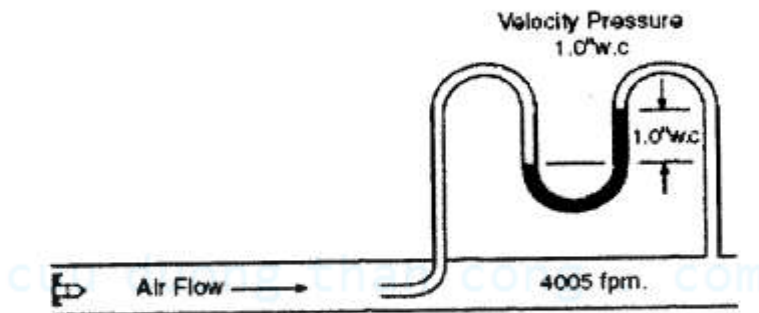
nóng, để bù trừ sự biến động trong nhiệt độ không khí, do vậy mà phương pháp còn được gọi là “dây nóng” “*hot wire*”.

Các cảm biến dây nóng được chế tạo sẵn như một máy đo điểm đơn dành cho các mục đích thử nghiệm *test*, hoặc nhiều dụng cụ được bố trí tại nhiều điểm lắp đặt cố định. Các cảm biến này dùng đo các luồng khí chảy chậm tốt hơn các kiểu cảm biến áp suất vi sai, và nói chung được sử dụng cho các luồng khí có vận tốc từ 50 tới 12000 feet trên phút (tức là từ 1 ÷ 200 km/h).

Thông thường để đo chất khí người ta dùng các manometers. Hình 6.1 cho một ví dụ phép đo áp suất thủy động của luồng khí bằng manometer dạng ống hình chữ U. Ở đây sử dụng nguyên lý cảm biến lưu lượng kiểu áp suất vi sai.

6.1.2 Hệ cảm biến đo áp suất vi sai.

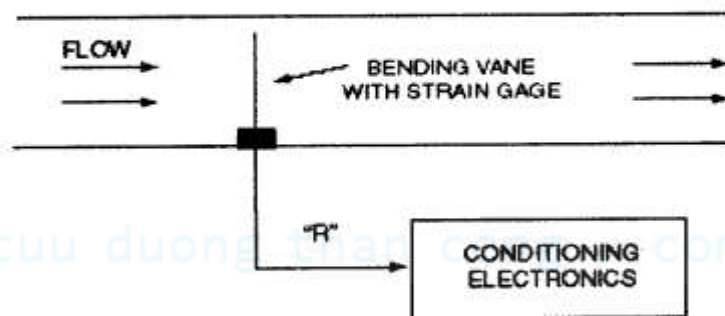
Các công nghệ cảm biến đo áp suất vi sai có thể dùng cho các phép đo lưu lượng của cả luồng chất khí và dòng chất lỏng theo nguyên lý thay đổi độ giảm áp trong đường lưu thông. Trên thị trường có sẵn nhiều kiểu dạng cảm biến chuyên dụng dùng đo áp suất và dùng đo cả lưu lượng khí, cũng như các cảm biến áp suất vi sai dùng cho các phép đo chất lỏng. Các máy đo lưu lượng kiểu áp suất vi sai là kiểu máy đo thông dụng, nhất là các máy dùng cho chất lỏng.



Hình 6.1 – Phép đo áp suất thủy động dùng manometer dạng ống hình chữ U.

Nguyên lý hoạt động của các máy đo lưu lượng kiểu áp suất vi sai dựa trên cơ sở áp suất rơi trên máy đo tỷ lệ với bình phương lưu lượng; lưu lượng dòng chảy được xác định bằng cách đo áp suất vi sai rồi lấy căn bậc hai trị số đó. Các máy đo lưu lượng kiểu áp suất vi sai, giống như hầu hết các máy đo lưu lượng khác, có các phần tử sơ cấp và thứ cấp. Phần tử sơ cấp gây ra sự thay đổi trong năng lượng động học, để tạo ra áp suất vi sai trong đường ống. Cấu trúc máy phải vừa khít với kích thước ống, các điều kiện dòng chảy, và các tính chất của chất lỏng được đo. Thêm vào đó, độ chính xác đo lường của phần tử phải đảm bảo trong một phạm vi chấp nhận được. Phần tử thứ cấp đo áp suất vi sai và các tín hiệu đầu ra được chuyển đổi thành giá trị lưu lượng thực tế của dòng chảy.

Có nhiều cách xác định lưu lượng dòng chảy (lưu lượng thể khối *mass flow*, lưu lượng thể tích *volume-*, lưu lượng chảy tầng *laminar-*, lưu lượng chảy rối *turbulent-*). Thông thường, khối lượng chất chảy (lưu lượng khối) là quan trọng nhất, và nếu mật độ chất lỏng là không đổi, thì phép đo lưu lượng thể tích là thay thế tốt nhất mà lại dễ thực hiện hơn. Một lớp các biến cảm transducers được sử dụng một cách phổ biến đo trực tiếp lưu lượng dòng chảy, cũng cần đến phép đo áp suất. Hình 6.2 giới thiệu một cánh ngăn định hướng *bending vane* có lắp ghép một dây đo biến dạng nhúng trong dòng chảy để đo lưu lượng.

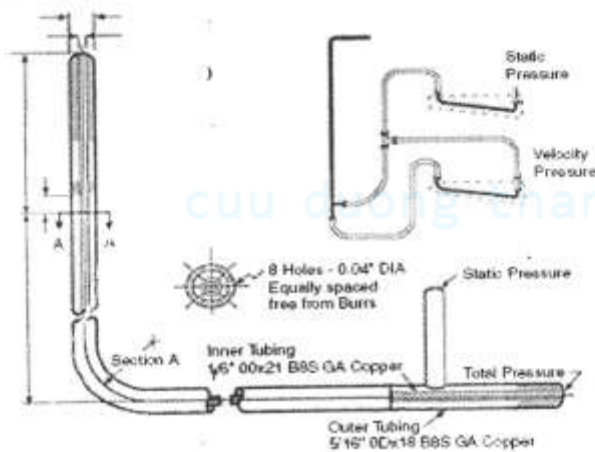


Hình 6.2 –Cánh hướng có dây đo biến dạng dùng đo lưu lượng dòng chảy

Đối với các phép đo lưu lượng luồng khí, các máy đo lưu lượng kiểu áp suất vi sai thông thường bao gồm các ống pitot (xem hình 6.3) và nhiều kiểu dạng khác nhau cảm biến áp suất thủy động *velocity pressure-sensing* dạng ống *tubes* (xem hình 6.1 – ống chữ U), dạng lưới *grids*, và dạng mảng *arrays*. Tất cả các phần tử cảm biến này đều kết hợp với bộ phát dẫn áp suất vi sai cường độ thấp *low differential pressure transmitter* để tạo ra tín hiệu tỷ lệ với căn bậc hai của tốc độ chất lỏng.

Một ống pitot bao gồm hai ống đo áp suất ở hai vị trí khác nhau bên trong đường ống. Một ống đo áp suất tĩnh, thường đặt trên thành đường ống, còn ống kia đo áp suất tác dụng *impact pressure* (áp suất tĩnh *static pressure* cộng với áp suất thủy động *velocity pressure*). Lưu lượng dòng chảy càng nhanh thì áp suất tác dụng càng lớn. Các ống pitot sử dụng sự khác biệt giữa áp suất tĩnh và áp suất tác dụng để tính tốc độ dòng chảy.

Các ống pitot là những dụng cụ rẻ tiền, nhưng chúng có nhược điểm là chỉ đo dòng chảy tại một điểm và cần phải lắp đặt tại điểm tối đa tốc độ dòng chảy. Những thay đổi trong hình dạng vận tốc dòng chảy có thể gây nên những sai số nghiêm trọng. Chúng cũng có xu hướng làm nghẹt dòng chảy. Việc đánh giá trung bình các ống pitot có vài cổng để đo dòng chảy tại nhiều vị trí khác nhau, cho phép tính đến sự thay đổi hình dạng vận tốc dòng chảy.



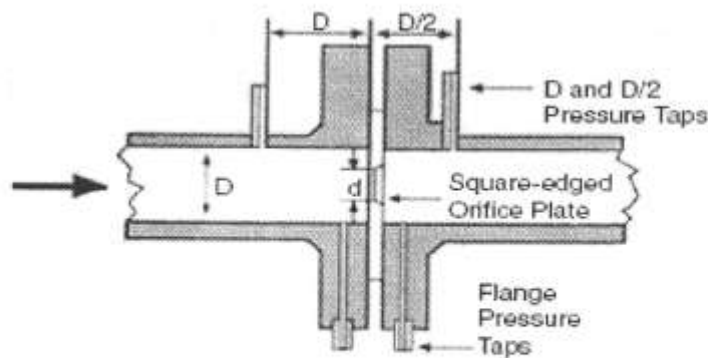
Hình 6.3 – Ống Pitot.

Các hệ đo lưu lượng dòng chảy dựa trên cơ sở áp suất vi sai bao gồm các bộ truyền dẫn có khả năng rút ra căn bậc hai của áp suất đo được bởi phương tiện điện tử và cung cấp tín hiệu tỷ lệ tuyến tính với tốc độ. Các phương pháp khác cung cấp tín hiệu tỷ lệ với áp suất đo được và phụ thuộc vào hệ điều khiển để tính toán căn bậc hai. Một khi có được trị số tốc độ, có thể tính được lưu lượng bằng cách nhân với diện tích mặt cắt của ống dẫn.

Phạm vi đo tốc độ thủy động bị hạn chế bởi phạm vi và độ phân giải của bộ truyền dẫn được sử dụng. Đa số các máy đo áp suất vi sai đều bị hạn chế ở tốc độ tối thiểu cỡ 400 đến 600 feet trên phút. Tốc độ tối đa chỉ bị hạn chế bởi độ bền của cảm biến. Để đo dòng nước, điển hình là các dụng cụ đo lưu lượng kiểu áp suất vi sai hoặc là đo áp suất thủy động (dạng ống nhúng), hoặc đo sự sụt áp trên một vách ngăn biết trước nào đó. Các tấm ngăn có lỗ *orifice plates*, các ống phụt gich-lơ *flow nozzles*, các ống pitot, ống venturis là những kiểu vách ngăn thường được sử dụng.

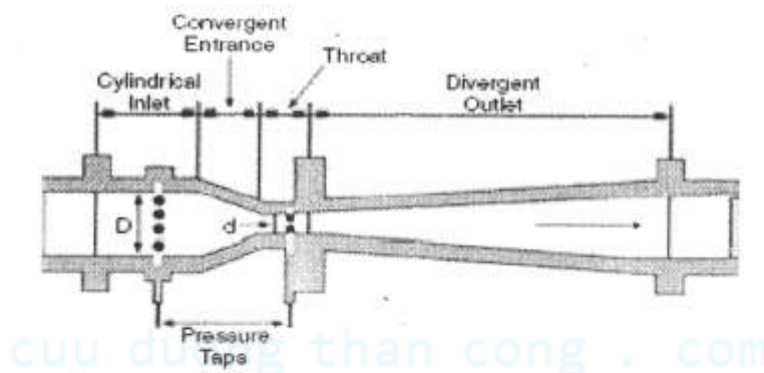
Các cảm biến lưu lượng kiểu ống nhúng được chế tạo một cách điển hình từ một ống dẫn có nhiều nhánh mở *multiple openings* chạy suốt bề rộng dòng chảy, để cho ta trị trung bình vi sai tốc độ dòng qua ống; và một vật cản bên trong nằm giữa các cửa mở ở phía trên và phía dưới dòng chảy để nhận được áp suất vi sai. Các máy đo kiểu ống nhúng có độ tổn hao áp suất bền *permanent pressure loss* thấp và có thể đáp ứng thỏa mãn nhiều ứng dụng thông thường.

Loại tấm ngăn có lỗ đồng tâm *concentric orifice plate* là dạng đơn giản nhất và rẻ tiền nhất trong số các dụng cụ áp suất vi sai. Tấm ngăn có lỗ làm dòng chất lỏng chảy theo dạng đồng tâm và tạo nên áp suất vi sai trên tấm lỗ (xem hình 6.4). Điều đó tạo ra áp suất cao trong dòng chảy trên và áp suất thấp ở dòng chảy dưới, tỷ lệ với bình phương tốc độ dòng chảy. Tấm ngăn có lỗ thường tạo ra tổn hao áp suất toàn phần lớn hơn là các phần tử lưu lượng khác. Một ưu điểm của dụng cụ này là giá thành không tăng mấy với kích cỡ ống.



Hình 6.4 – Tấm ngăn có lỗ đồng tâm.

Các ống venturi (hình 6.5) là dụng cụ áp suất vi sai lớn nhất và đắt tiền nhất. Chúng hoạt động theo đường kính hẹp dần lại của đường ống *gradually narrowing the diameter*, và đo sự sụt áp bởi độ hẹp dần ấy. Phần nở ra sau đó của dụng cụ áp suất vi sai sẽ làm cho áp suất dòng chảy trở lại gần như áp suất ban đầu của nó. Cũng như với tấm ngăn có lỗ, phép đo áp suất vi sai được chuyển đổi thành lưu lượng thủy động tương ứng. Một cách điển hình, các ống venturi chỉ được sử dụng trong những ứng dụng đòi hỏi độ sụt giảm áp suất thấp và độ chính xác của các số đo cao. Chúng thường được dùng trong các đường ống có đường kính lớn.



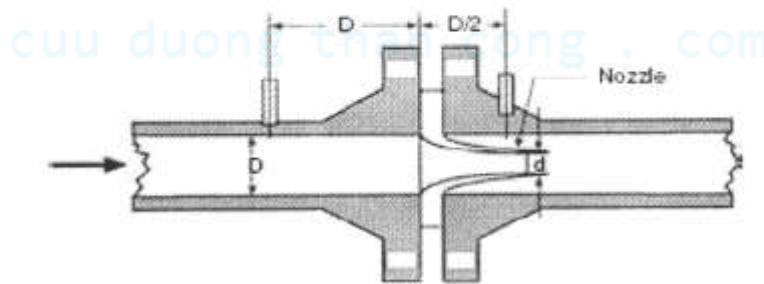
Hình 5.5 – Ống venturi.

Các cảm biến dạng ống phụt gích-lơ *flow nozzles* thực tế là một biến dạng của kiểu ống venturi, có gích-lơ mở ra làm vật cản hình ellip trong dòng chảy *nozzle opening being an elliptical restriction*, nhưng

không có khoảng nở ra để bù trở lại áp suất (hình 6.6). Các gích-lơ áp suất *taps* được định vị ở khoảng $\frac{1}{2}$ đường kính ống dòng dưới *downstream* và bằng khoảng 1 đường kính ống dòng trên *upstream*.

Các ống phụt gích-lơ là máy đo dòng chảy tốc độ cao, thường được sử dụng khi có độ rối *turbulence* cao (số Reynold trên 50.000), như trong các ứng dụng đo lưu lượng luồng hơi. Độ sụt áp suất của các ống phụt gích-lơ nằm giữa kiểu ống venturi và kiểu tấm ngăn có lỗ đồng tâm (30 tới 90 phần trăm).

Lợi ích của các dụng cụ áp suất vi sai là giá thành thấp, vận hành và lắp đặt đơn giản, và khả năng hoạt động đã được minh chứng trên thực tế. Đó là một công nghệ dễ hiểu. Nhược điểm của những dụng cụ này là tổn hao áp suất bền, có thể bị tích tụ cặn bẩn và làm nghẹt; một vài kiểu dạng có kích cỡ lớn; và không thích hợp với một số loại chất lỏng nhất định.



Hình 6.6 – Cảm biến dạng ống phụt gích-lơ.

6.1.3 Các cảm biến chảy xoáy *Vortex-Shedding*.

Các cảm biến lưu lượng này dựa trên nguyên lý (Von Karman) là khi chất lỏng chảy vòng qua vách ngăn *obstruction* (đối tượng giả *bluff object*) trong luồng chảy, các xoáy hoặc lốc cuộn *eddies or vortices* thay nhau chảy xuống luồng dưới đối tượng. Tần số chảy xoáy tỷ lệ với vận tốc dòng chảy. Các cảm biến đơn được sử dụng trong các ống dẫn nhỏ, còn đối với các ống dẫn lớn thì áp dụng cách bố trí cảm biến thích hợp, như đối với các kiểu máy khác đo luồng khí. Nói chung, các cảm

biến chảy xoáy được ứng dụng cho các dòng khí có tốc độ trong phạm vi từ 350 tới 6000 feet trên phút. Các máy đo này thích ứng như nhau để đo lưu lượng thủy động hay đo lưu lượng toàn phần. Không khuyến nghị sử dụng với các chất lỏng có mật độ cao hay dạng sệt.

6.1.4 Các cảm biến lưu lượng kiểu chuyển vị tích cực *Positive Displacement Flow Sensors.*

Các dụng cụ đo lưu lượng này được sử dụng khi cần thiết phải có độ chính xác cao ở ngưỡng dưới độ nhạy *turndown* (tỷ số toàn phạm vi đo của máy trên lưu lượng nhỏ nhất có thể đo được), và khi độ tổn hao áp suất bên không gây ra sự tiêu thụ năng lượng quá mức. Các máy này hoạt động bằng cách tách chất lỏng thành các phân đoạn đo, rồi chuyển dịch nó đi tiếp. Mỗi phân đoạn khi đó được đo đếm bởi một máy đếm *registers* và các máy đếm này được kết nối với nhau. Chúng rất có ích đối với các dòng chất lỏng sền sệt hay khi cần đến các máy đo cơ học đơn. Các kiểu thông dụng trong số các máy đo lưu lượng kiểu chuyển vị bao gồm các máy dạng thùy *lobed* và dạng bánh răng *gear*, dạng đĩa quay *nutating disk*, dạng cánh quạt quay, và dạng piston dao động *oscillating piston*. Một cách điển hình, các máy đo này được chế tạo bằng kim loại như đồng thau *brass*, đồng đỏ *bronze*, và thép đúc, nhưng cũng có thể được cấu trúc từ chất dẻo kỹ thuật *engineered plastic*, tùy theo ứng dụng.

Bởi trong các máy đo lưu lượng kiểu chuyển vị tích cực cần đảm bảo dung sai khớp kín *close tolerances* giữa các bộ phận chuyển động nên các chất rắn lơ lửng trong dòng chảy có thể gây ra vấn đề cơ học. Các máy đo lưu lượng kiểu chuyển vị tích cực có sẵn các bộ chỉ thị lưu lượng và bộ tổng gộp, có thể đọc trực tiếp được. Những dụng cụ này tương đối đắt tiền.

Để hiểu nguyên lý cảm biến khối lượng thể tích kiểu chuyển vị, chúng ta khảo sát một dạng máy đo cơ khí thông dụng: công-tơ thể tích đo lưu lượng thể tích chất lỏng và công-tơ khí kiểu quay.

biến chảy xoáy được ứng dụng cho các dòng khí có tốc độ trong phạm vi từ 350 tới 6000 feet trên phút. Các máy đo này thích ứng như nhau để đo lưu lượng thủy động hay đo lưu lượng toàn phần. Không khuyến nghị sử dụng với các chất lỏng có mật độ cao hay dạng sệt.

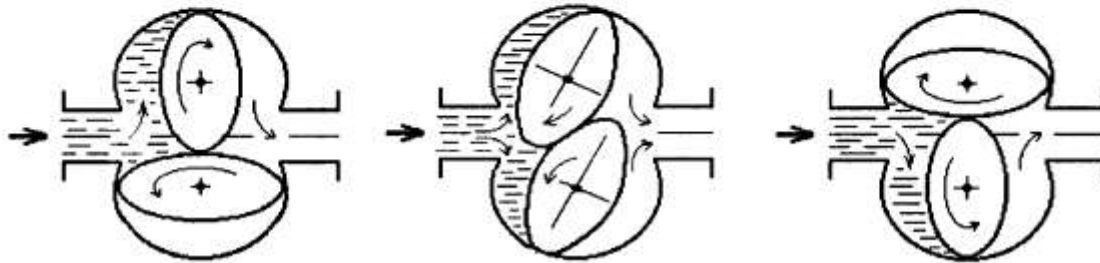
6.1.4 Các cảm biến lưu lượng kiểu chuyển vị tích cực *Positive Displacement Flow Sensors*.

Các dụng cụ đo lưu lượng này được sử dụng khi cần thiết phải có độ chính xác cao ở ngưỡng dưới độ nhạy *turndown* (tỷ số toàn phạm vi đo của máy trên lưu lượng nhỏ nhất có thể đo được), và khi độ tổn hao áp suất bên không gây ra sự tiêu thụ năng lượng quá mức. Các máy này hoạt động bằng cách tách chất lỏng thành các phân đoạn đo, rồi chuyển dịch nó đi tiếp. Mỗi phân đoạn khi đó được đo đếm bởi một máy đếm *registers* và các máy đếm này được kết nối với nhau. Chúng rất có ích đối với các dòng chất lỏng sền sệt hay khi cần đến các máy đo cơ học đơn. Các kiểu thông dụng trong số các máy đo lưu lượng kiểu chuyển vị bao gồm các máy dạng thùy *lobed* và dạng bánh răng *gear*, dạng đĩa quay *nutating disk*, dạng cánh quạt quay, và dạng piston dao động *oscillating piston*. Một cách điển hình, các máy đo này được chế tạo bằng kim loại như đồng thau *brass*, đồng đỏ *bronze*, và thép đúc, nhưng cũng có thể được cấu trúc từ chất dẻo kỹ thuật *engineered plastic*, tùy theo ứng dụng.

Bởi trong các máy đo lưu lượng kiểu chuyển vị tích cực cần đảm bảo dung sai khớp kín *close tolerances* giữa các bộ phận chuyển động nên các chất rắn lơ lửng trong dòng chảy có thể gây ra vấn đề cơ học. Các máy đo lưu lượng kiểu chuyển vị tích cực có sẵn các bộ chỉ thị lưu lượng và bộ tổng gộp, có thể đọc trực tiếp được. Những dụng cụ này tương đối đắt tiền.

Để hiểu nguyên lý cảm biến khối lượng thể tích kiểu chuyển vị, chúng ta khảo sát một dạng máy đo cơ khí thông dụng: công-tơ thể tích đo lưu lượng thể tích chất lỏng và công-tơ khí kiểu quay.

Công-tơ thể tích. Nguyên lý: Dựa trên cơ sở đếm trực tiếp lưu lượng thể tích chất lỏng lưu thông qua buồng chứa có thể tích biết trước, ở đây là buồng chứa tạo nên bên trong máy đo. Sơ đồ nguyên lý cấu trúc (hình 6.7):



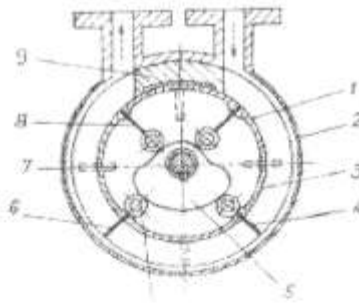
Hình 6.7 – Công-tơ thể tích.

Bộ phận cấu trúc cơ bản là buồng chứa được tạo hình đặc biệt và hệ bánh răng ovan truyền động do dòng chảy. Trục của một trong hai bánh răng được gắn với cơ cấu đếm lắp bên ngoài.

Đặc điểm:

- Máy đo có độ chính xác cao ($\varepsilon = \pm(0,5 \div 1,0)[\%]$); tổn thất áp suất nhỏ.
- Nhược điểm: cần bộ lọc đầu vào, gây ồn, phạm vi đo giới hạn $(0,01 \div 250) [m^3 / giờ]$.
- Ứng dụng chủ yếu đo lưu lượng thể tích chất lỏng, dầu sạch và các sản phẩm dầu.
- Phương pháp đo: Dùng cơ cấu đếm cơ khí để chỉ thị hay bộ biến đổi số vòng quay thành tín hiệu điện.

Công-tơ khí kiểu quay. Sơ đồ nguyên lý cấu trúc (hình 6.8).



Hình 6.8 – Công-tơ lưu lượng thể tích khí kiểu quay.

Bộ phận cấu trúc cơ bản là tang quay nằm bên trong vỏ máy và hệ cánh gạt có bánh lăn tựa trên cơ cấu cam cố định. Tang quay được gắn với cơ cấu đếm bên ngoài.

Đặc điểm:

- Máy đo có độ chính xác 0,25; 0,5. Phạm vi đo $(100 \div 300)$ [$m^3 / \text{giờ}$]. Đường kính ống dẫn $(100 \div 500)$ [mm].
- Ứng dụng đo lưu lượng thể tích chất khí hay dầu trong điều kiện cố định tại các nhà máy lọc dầu hay trang bị trên các thiết bị di động.
- Phương pháp đo: Dùng cơ cấu đếm cơ khí để chỉ thị hay bộ biến đổi số vòng quay thành tín hiệu điện.

Các cảm biến lưu lượng kiểu turbine.

Các máy đo kiểu *turbine* và chân vịt *propeller* áp dụng nguyên lý là chất lỏng chảy qua turbine hay chân vịt sẽ làm quay rotor với tốc độ tỷ lệ thuận với lưu lượng dòng chảy. Các xung điện sẽ được đếm và công gộp. Các dụng cụ này có sẵn dạng toàn phần đường kính *full bore*, dạng các phương án lắp ráp theo tuyến *line-mounted* và dạng nhúng *insertion types* nếu chỉ một phần dòng chảy cần đo là chảy qua phần tử quay của máy. Các máy đo lưu lượng kiểu turbine, khi được đặc trưng và lắp đặt một cách phù hợp, sẽ cung cấp độ chính xác tốt, đặc biệt là đối với các chất lỏng có mật độ thấp. Các cảm biến kiểu nhúng được sử dụng cho những trường hợp ít nghiêm trọng hơn, tuy

nhiên chúng thường dễ bảo trì kiểm tra và sửa chữa hơn bởi có thể tháo dỡ ra mà không làm ngưng trệ đường ống dẫn chính.

Trên cơ sở nguyên lý cảm biến lưu lượng kiểu turbin, chúng ta khảo sát một dạng máy đo cơ khí thông dụng: công-tơ tốc độ hay còn gọi là công-tơ turbine.

Công-tơ tốc độ. Nguyên lý: Dựa trên cơ sở đo gián tiếp số lượng thể tích chất lỏng chảy qua, thành đơn vị lưu lượng thể tích, thông qua số vòng quay n của turbine máy trong một đơn vị thời gian (tức là tương ứng tốc độ v của dòng chảy).

Lưu lượng thể tích Q của dòng chảy (biểu thức (6.1)-) có tốc độ v chảy qua tiết diện S của công-tơ là:

$$\dot{Q} = v.S.$$

Tốc độ turbine máy đo tương ứng giá trị tức thời của tốc độ dòng chảy. Nhưng máy đo được khắc vạch theo đơn vị lưu lượng thể tích của dòng chảy, bởi số vòng quay n của turbine tỷ lệ với vận tốc v dòng chảy:

$$n = k.v = k.Q/S; \quad (6.3)$$

mà lưu lượng thể tích Q chính là:

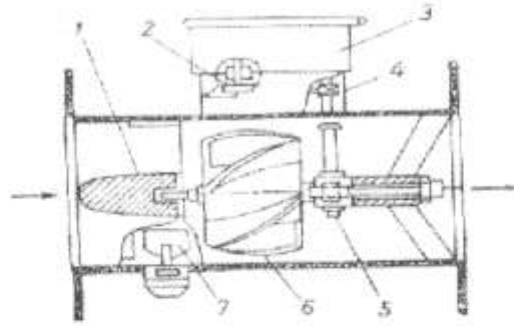
$$Q = \frac{dV}{dt}; \quad (6.4)$$

ở đây: V là thể tích lưu chất đi qua tiết diện S của máy đo trong khoảng thời gian $\Delta t = t_2 - t_1$, (ứng với chỉ thị máy đo ở những thời điểm đó là N_1 và N_2). Từ đó ta có:

$$V = \int_{t_1}^{t_2} Q.dt = \frac{S}{k} \cdot \int_{t_1}^{t_2} n.dt = K.f(n). \quad (6.5)$$

Tức là lưu lượng thể tích của chất lỏng tỷ lệ với số vòng quay n của turbine máy.

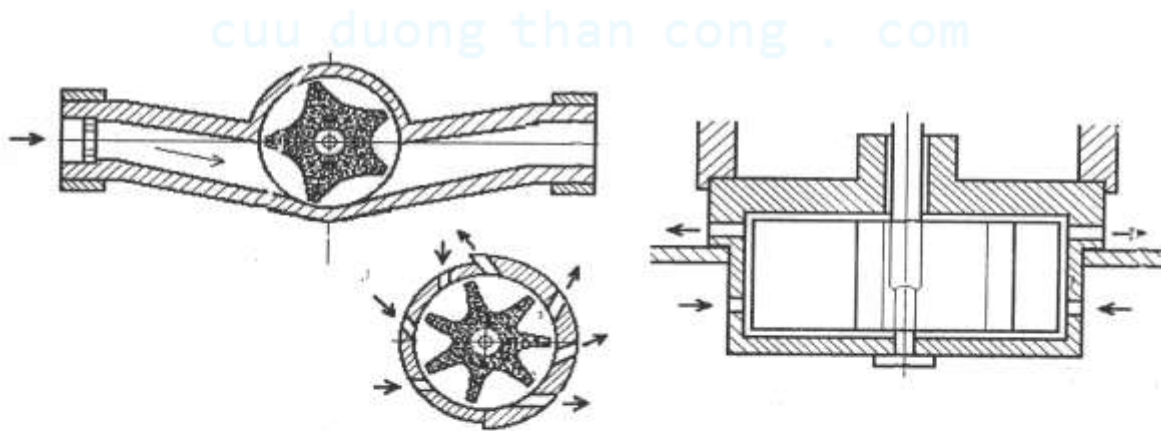
Sơ đồ nguyên lý cấu trúc (hình 6.9).



Hình 6.9 – Công-tơ tốc độ turbine hướng trục.

Bộ phận cấu trúc cơ bản là turbine đặt theo hướng trục máy, có dạng vít xoắn, truyền động bởi dòng chảy; trục turbine gắn với cơ cấu đếm cơ khí bằng cặp bánh răng trục vít. Máy có bộ phận hiệu chỉnh tốc độ turbine bằng cách chỉnh hướng dòng chảy so với góc lệch cánh turbine.

Đối với dòng chảy lưu lượng nhỏ, dùng công tơ turbine kiểu tiếp tuyến (chia thành loại dòng đơn hay nhiều dòng – hình 6.10).



Hình 6.10 – Công-tơ turbine tiếp tuyến.

Đặc điểm:

- Công-tơ turbin hướng trục có độ chính xác 1,0; 1,5; 2,0; phạm vi đo $(50 \div 300) [m^3/giờ]$; đường kính ống dẫn $(50 \div 300) [mm]$. Công-tơ turbin tiếp tuyến có độ chính xác 2,0; 3,0; phạm vi đo $(3 \div 20) [m^3/giờ]$; đường kính ống dẫn $(15 \div 40) [mm]$.

- Phương pháp đo: Dùng cơ cấu đếm cơ khí để chỉ thị hay bộ biến đổi số vòng quay thành tín hiệu điện.

6.1.5 Các máy đo lưu lượng thể khối *Mass Flowmeters*.

Các quá trình liên quan tới lưu lượng thể khối như các phản ứng hoá học, quá trình nhiệt dẫn vv... đòi hỏi những phép đo lưu lượng chính xác hơn, và điều đó dẫn tới việc phát triển các máy đo lưu lượng khối. Một loạt các thiết kế đã được thực hiện, nhưng phổ biến nhất là máy đo Coriolis, hoạt động của nó dựa trên cơ sở hiện tượng được gọi là lực Coriolis.

Lực Coriolis là một loại lực quán tính, là đại lượng có độ lớn bằng tích của khối lượng vật với gia tốc Coriolis và có hướng ngược với hướng của gia tốc Coriolis. Gia tốc Coriolis là gia tốc xuất hiện trong các hệ quy chiếu quay. Ở đây ta dùng khái niệm hệ quy chiếu, có hệ S (có vật chuyển động bên trong với vận tốc dài \vec{v}) chuyển động với vận tốc góc $\vec{\omega}$ đối với một hệ N, để giải thích nguyên lý hoạt động của máy đo Coriolis.

Các máy đo Coriolis là máy đo khối lượng thực, đo trực tiếp vận tốc khối của dòng chảy, khác với cách đo lưu lượng thể tích. Bởi vì khối lượng không thay đổi, nên máy đo là tuyến tính mà không phải điều chỉnh đối với những chất lỏng có các thuộc tính khác nhau. Cũng y như vậy, không cần phải bù trừ đối với những thay đổi về nhiệt độ và các điều kiện áp suất. Kiểu máy đo lưu lượng này đặc biệt có ích đối với phép đo những chất lỏng có mật độ thay đổi theo vận tốc ở nhiệt độ và áp suất đã cho.

Các máy đo Coriolis được chế xuất theo nhiều kiểu thiết kế khác nhau. Một dụng cụ phổ biến bao gồm ống dẫn dòng hình chữ U được bọc trong vỏ cảm biến nối với bộ phận điện tử, và khối điện tử có thể đặt ở cách xa cảm biến tới 500 feet. Bên trong vỏ hộp cảm biến, ống dẫn hình chữ U rung động ở tần số tự nhiên của nó bởi một dụng cụ từ tính đặt ở đoạn cong của ống. Cái này giống như rung động của

âm thoa (*tuning-fork* – cơ cấu định âm “la” mẫu cho nhạc cụ), chiếm ít nhất là 0,1 inch. và hoàn thành trọn chu kỳ khoảng 80 lần/giây. Bởi bên trong ống có chất lỏng chảy qua, rung động này làm cho ống dẫn buộc phải rung động theo chiều thẳng đứng. Việc này làm chất lỏng tác động một lực lên đường ống (lực Criolis), làm cho ống xoay vắn xoắn. Lượng xoắn trực tiếp tỷ lệ với độ lớn lưu lượng khối của chất lỏng chảy qua ống. Các cảm biến từ tính đặt trên mỗi đầu ống sẽ đo vận tốc chuyển dịch của ống, vận tốc này sẽ thay đổi khi ống xoắn lại. Các cảm biến cung cấp thông tin này cho bộ phận điện tử, bộ phận này sẽ xử lý và biến đổi thành điện áp tỷ lệ với độ lớn lưu lượng thể khối. Máy đo lưu lượng này có phạm vi ứng dụng rộng rãi, từ chất keo dán tới ni-tơ lỏng.

6.1.6 – Lưu lượng kế từ-điện.

Nguyên lý hoạt động dựa trên cơ sở định luật cảm ứng điện-từ Faraday: khi từ thông Φ qua một vòng dây dẫn khép kín biến thiên, thì trong vòng dây sẽ xuất hiện một thế điện động cảm ứng e_{cur} ; suất điện động cảm ứng này chỉ tồn tại trong thời gian từ thông biến thiên và tỷ lệ với tốc độ biến thiên từ thông:

$$e_{cur} = -d\Phi/dt. \quad (6.6)$$

Nếu vòng dây dẫn khép kín đó là dòng chảy của chất lỏng dẫn điện thì có thể ứng dụng nguyên lý cảm ứng điện-từ để xác định tốc độ hay lưu lượng thể tích của chất lỏng.

Sức điện động cảm ứng trong từ trường không đổi (nam châm vĩnh cửu) là:

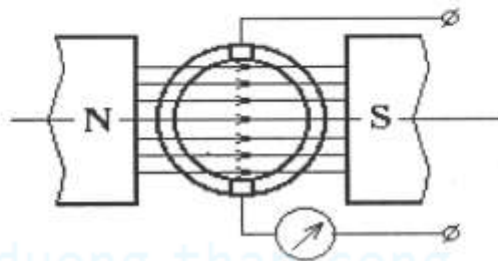
$$e_{cur} = B.v.D = \frac{4B}{\pi D}.Q = kQ; \quad (6.7)$$

ở đây: B – cường độ từ cảm; v – tốc độ dòng chảy; D – đường kính trong của ống dẫn; Q – lưu lượng thể tích của chất lỏng. Tức là sức điện động cảm ứng tỷ lệ với lưu lượng thể tích của chất lỏng.

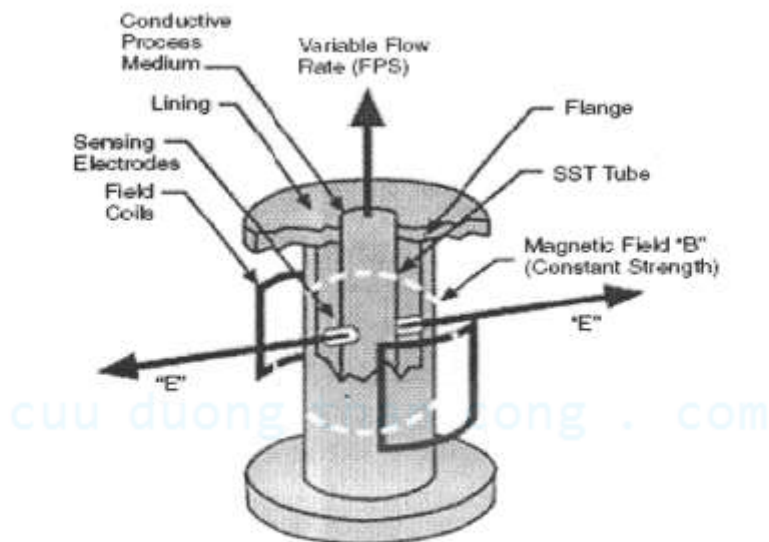
Để loại trừ ảnh hưởng của sức điện động phân cực ký sinh trên các điện cực của lưu lượng kế, thay vì nam châm vĩnh cửu có thể dùng nam châm điện xoay chiều. Khi đó sức điện động cảm ứng trong từ trường xoay chiều sẽ là:

$$e_{CUT} = 4Q \cdot B_{\max} \cdot \sin\left(\omega \cdot \frac{\tau}{\pi D}\right). \quad (6.8)$$

Nguyên lý cấu tạo (hình 6.11). Bộ phận cấu thành cơ bản của lưu lượng kế là đoạn ống bằng kim loại không từ tính đặt vuông góc với đường sức của từ trường nam châm, có hai điện cực đưa ra, nối với đồng hồ đo (millivolt-kế hay điện thế kế).



Hình 6.11 – Sơ đồ nguyên lý lưu lượng kế từ-điện.



Hình 6.12 – Đầu từ của máy đo lưu lượng.

Chất lỏng là chất điện dẫn, và từ trường bên ngoài (của nam châm vĩnh cửu hoặc được tạo bởi các cuộn dây đặt bên ngoài đường ống được kích thích điện áp xoay chiều). Điện áp tạo ra sẽ tỷ lệ với độ lớn lưu lượng. Các điện cực lắp trên thành ống cảm nhận điện áp cảm ứng và được đo bởi dụng cụ thứ cấp.

Hình 6.12 giới thiệu nguyên lý kết cấu của lưu lượng kế từ-điện. Các máy đo lưu lượng kiểu từ-điện được ứng dụng để đo vận tốc dòng chảy của các chất lỏng dẫn điện (gồm cả nước), những chỗ cần một hệ chất lượng cao, yêu cầu bảo trì thấp. Giá thành của các máy đo lưu lượng kiểu từ-điện cao hơn so với các kiểu máy đo lưu lượng khác. Chúng có nhiều ưu điểm: có thể đo các chất lỏng khó đo và có tính ăn mòn, chất sệt như hồ vữa cement, bùn, phân sệt, và có thể đo lưu lượng chảy ngược *reverse flow*.

Đặc điểm:

- Lưu lượng kế từ-điện dùng đo chất lỏng có điện dẫn không dưới $(10^{-5} \div 10^{-6})[\text{Simen/m}]$.
- Chỉ thị máy đo không phụ thuộc tỷ trọng chất lỏng, không phụ thuộc các ảnh hưởng ngoài (áp suất, nhiệt độ, độ nhớt, lẫn hạt, bụi hay bọt khí ... – nếu chúng không làm thay đổi điện dẫn của chất lỏng).
- Phạm vi đo $(1 \div 2500)[\text{m}^3/\text{giờ}]$; tốc độ dòng chảy $(0,6 \div 10)[\text{m/s}]$ trong ống dẫn đường kính $(10 \div 1000)[\text{mm}]$; cấp chính xác 1,0; 2,5.
- Phương pháp đo: Đo sức điện động, dùng cơ cấu đo điện thế kế.

6.1.7 Các cảm biến lưu lượng siêu âm.

Các cảm biến lưu lượng kiểu siêu âm có thể chia ra thành:

- Cảm biến Doppler, và:
- Cảm biến chuyển vận, hay là thời gian chuyển dịch *time-travel*.

Cảm biến Doppler dựa trên cơ sở hiệu ứng Doppler – sự thay đổi tần số của dao động phát đi từ một nguồn do chuyển động tương đối của nguồn và máy thu. Trong các cảm biến Doppler, những di pha tần số gây ra bởi chất lỏng chuyển động mang theo những phần tử rời rạc tạo ra những xung phản xạ như từ một nguồn di động.

Các cảm biến Doppler đo những di pha tần số gây ra bởi chất lỏng. Hai bộ biến cảm được lắp ráp trong hộp gắn vào một bên ống; một tín hiệu có tần số đã biết trước được cấp tới chất lỏng cần đo. Những hạt lơ lửng, chạt chất rắn hay bất kỳ chất rời rạc nào khác trong chất lỏng sẽ tạo ra những xung phản xạ tới phần tử thu nhận. Bởi chất lỏng gây nên phản xạ lại đang dịch chuyển nên tần số xung phản xạ bị di pha, và độ dịch pha tỷ lệ với vận tốc của chất lỏng.

Với các máy đo kiểu thời gian chuyển vận *time-travel*, thì các biến cảm transducers được lắp ở hai bên ống, sao cho sóng âm làm thành một góc 45 độ với hướng dòng chảy. Tốc độ tín hiệu giữa các biến cảm sẽ tăng hay giảm theo hướng truyền dẫn và vận tốc chất lỏng cần đo. Cũng có thể xác định được quan hệ thời gian vi sai tỷ lệ với lưu lượng bằng cách truyền dẫn tín hiệu một cách luân phiên theo cả hai hướng. Khác với các cảm biến Doppler, các cảm biến thời gian chuyển dịch bị hạn chế là các chất lỏng được đo phải tương đối sạch, không có những hạt chất rắn hay các chất khí trộn để giảm thiểu sự phân tán hay hấp thụ tín hiệu.

Ưu điểm của các máy đo lưu lượng kiểu siêu âm là chúng không xâm thực và giá thành vừa phải. Có nhiều kiểu được thiết kế để kẹp lên đường ống.

Phép đo lưu lượng theo hiệu ứng laser Doppler.

Phong vũ biểu anemometer kiểu laser Doppler (*Laser Doppler Anemometer LDA*) là kỹ thuật đã xác lập khá vững trên 30 năm nay, được ứng dụng rộng rãi để đo động học lưu chất trong các chất lỏng và chất khí. Độ nhạy hướng chảy và tính không xâm thực của các máy

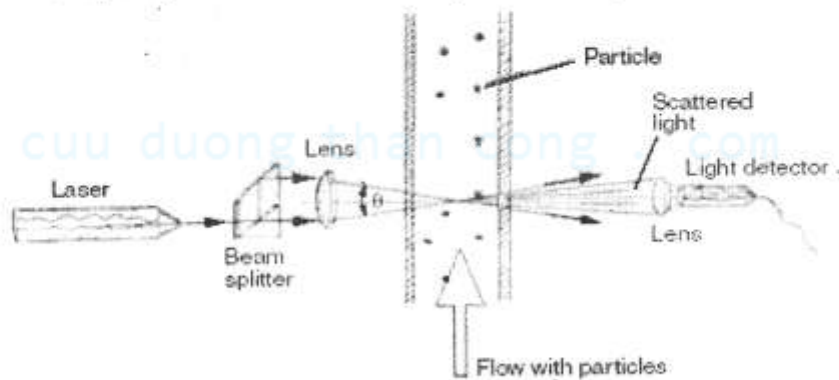
LDA làm cho nó trở thành có ích đối với những ứng dụng với đo dòng chảy ngược, các phản ứng hoá học hoặc phương tiện nhiệt độ cao, và các máy quay, nơi mà các cảm biến vật lý khác có thể khó khăn hoặc không thể sử dụng. Tuy nhiên kỹ thuật này đòi hỏi đổi theo những phần tử trong dòng chảy.

Những lợi ích chủ yếu của LDA trong phép đo lưu lượng bao gồm:

- Đo không tiếp xúc.
- Không cần kiểm chuẩn.
- Khoảng cách đo có thể từ cỡ centimeters đến meters.
- Tốc độ đo có phạm vi từ 0 đến siêu âm.
- Có thể đo đo dòng đối chiều.
- Có giải thuật không gian và thời gian cao.

Cấu trúc cơ bản của một máy đo LDA (hình 6.13) bao gồm:

- Một laser sóng liên tục.
- Máy phát quang học *transmitting optics*, kể cả bộ tách tia *beam splitter*, và thấu kính hội tụ *focusing lens*.
- Máy thu quang học *receiving optics*, gồm thấu kính hội tụ *focusing lens*, một bộ lọc giao thoa *interference filter*, và một bộ phân tách quang điện *photodetector*.
- Một bộ chuẩn hoá tín hiệu và xử lý tín hiệu.



Hình 6.13 – Cấu trúc máy đo LDA.

Nói chung, máy LDA gửi đi một tia laser đơn sắc tới đích và thu bức xạ phản xạ. Tùy theo hiệu ứng Doppler, sự thay đổi trong bước sóng của bức xạ phản xạ là hàm của tốc độ tương đối của đối tượng dùng làm đích. Do đó, tốc độ của đối tượng có thể xác định bằng cách đo sự thay đổi trong bước sóng của tia laser phản xạ. Việc này được thực hiện bằng cách tạo ra một mẫu *pattern* các vạch giao thoa (mẫu các vạch sáng tối xen kẽ) bằng cách xếp chồng lên nhau tín hiệu gốc và tín hiệu phản xạ.

Tế bào quang-điện Bragg thường được sử dụng như bộ tách tia. Nó là một tinh thể thủy tinh ghép với một tinh thể piezo rung động (hình 6.14).



Hình 6.14 – Tế bào Bragg sử dụng một bộ tách tia.

Sự rung động tạo nên các sóng âm tác động giống như một lưới quang học. Hai luồng tia có cường độ như nhau thoát ra từ tế bào Bragg với tần số f_0 và f_{dop} , và chúng được hội tụ lại vào các sợi quang đưa tới đầu dò *probe*. Trong đầu dò, các tia song song đi ra từ sợi quang được hội tụ bởi một thấu kính tới điểm giao nhau trong một vùng gọi là thể tích đo, điển hình là khoảng cỡ vài millimeters chiều dài và được đo tại đó. Cường độ sáng được điều biến nhờ có sự giao thoa giữa các tia laser tạo nên các vạch sáng song song có cường độ sáng cao, gọi là các vạch *fringes*. Khoảng rộng các vạch d_f được xác định bởi bước sóng λ của tia laser và góc θ tạo giữa các tia.

$$d_f = \frac{\lambda}{2 \sin(\theta/2)}. \quad (6.9)$$

Thông tin về tốc độ dòng chảy xuất phát từ ánh sáng tách ra bởi chùm các hạt “cấy vào” (“*seeding*”) có trong chất lỏng khi chúng chuyển động qua thể tích đo. Ánh sáng được phân tách bao gồm một sự di pha Doppler – tần số Doppler f_D - tỷ lệ với vận tốc thành phần vuông góc với đường phân đôi của hai chùm laser, tương ứng với trục x của thể tích đo.

Một thấu kính sẽ thu gom các chùm ánh sáng bị tách lại và hội tụ nó lên bộ cảm biến quang-điện. Một bộ lọc giao thoa được lắp phía trước cảm biến quang để chỉ cho ánh sáng có bước sóng nhất định đi qua, lọc bỏ khỏi các bước sóng khác và khỏi nhiều ánh sáng xung quanh. Cảm biến quang chuyển đổi biến động thất thường của cường độ sáng thành tín hiệu điện, sự bùng lên *burst* Doppler. Những sự bùng sáng Doppler được lọc và khuếch đại lên trong bộ xử lý tín hiệu, xác định f_D đối với mỗi hạt, thông thường là bằng cách phân tích tần số sử dụng thuật toán biến đổi nhanh Fourier (FFT).

Khoảng rộng của phổ vạch d_f cung cấp thông tin về khoảng cách dịch chuyển hạt. Tần số Doppler f_D cung cấp thông tin về thời gian: $t = 1/f_D$. Bởi vận tốc bằng khoảng cách chia cho thời gian, nên biểu thức xác định vận tốc sẽ là:

$$V = d_f * f_D, \quad (6.10)$$

Với chấp nhận về các phần tử hạt cấy *seeding*, thường có trường hợp là các chất lỏng có chứa những hạt cấy tự nhiên tương tự, nhưng tương tự các chất khí cũng bị trộn những hạt cấy như vậy. Một cách lý tưởng, các hạt phải đủ nhỏ để trôi theo dòng, nhưng cũng đủ lớn để tách đủ tia sáng để có được tỷ lệ tín hiệu-trên-nhiều *signal-to-noise* tốt ở đầu ra của cảm biến quang. Phạm vi kích cỡ của hạt thường là khoảng 1 tới 10 μm . Vật liệu hạt có thể là chất rắn (bột) hay chất lỏng (giọt).

6.1.8 Lựa chọn các cảm biến lưu lượng.

Việc lựa chọn dụng cụ không thích hợp giải thích đến 90% các vấn đề thường mắc phải với các máy đo lưu lượng. Yêu cầu quan trọng nhất trong việc lựa chọn một cảm biến là sự hiểu biết một cách chính xác những gì mà dụng cụ đó phải thực hiện. Dưới đây là những câu hỏi quan trọng cần phải được đặt ra trong suốt quá trình lựa chọn cảm biến:

- Có phải phép đo áp dụng để điều khiển một quá trình công nghệ mà mối quan tâm chủ yếu là khả năng lặp lại *repeatability*, hay là nhằm lý giải *accounting* hoặc khảo sát sự truyền chuyển *custody transfer*, khi mà độ chính xác cao mới là quan trọng?
- Chỉ thị kết quả là tại chỗ hay liệu có cần tín hiệu từ xa *remote* không? Nếu đòi hỏi phải có đầu ra từ xa thì nó phải là một tín hiệu tỷ lệ hay là một tín hiệu đóng mở tiếp điểm để kích hoạt hoặc ngưng dụng cụ khác?
- Chất lỏng cần đo là chất sạch, chất dẻo dính, sền sệt, hay là chất hồ cement, bùn hoặc phân bón dạng sệt?
- Chất lỏng cần đo liệu có dẫn điện?
- Đặc tính trọng lượng hay mật độ đặc trưng của chất lỏng cần đo là gì?
- Phạm vi (độ lớn) của lưu lượng liên quan đến ứng dụng này là thế nào?
- Nhiệt độ và áp suất vận hành của quá trình như thế nào?
- Liệu có phải tính đến những chỉ số về độ chính xác, phạm vi độ lớn, độ tuyến tính, tính lặp lại, và những yêu cầu về đường ống dẫn?

Một điều cũng rất quan trọng trước khi đưa ra quyết định lựa chọn cuối cùng là phải biết những gì máy đo lưu lượng *không thể* thực hiện được. Mỗi kiểu cảm biến đều có ưu và nhược điểm, mức độ thực

hiện thỏa mãn công việc đều liên quan tới việc liệu các tính năng và nhược điểm của dụng cụ có phù hợp với những điều kiện ứng dụng không. Đa số các nhà cung cấp cảm biến đều nhiệt tình giúp đỡ khách hàng của họ lựa chọn được máy đo thích hợp cho từng ứng dụng cụ thể. Nhiều hãng cung cấp những câu hỏi trắc nghiệm *questionnaires*, bản thử nghiệm *checklists*, và các bản kê đặc tính *specification sheets* được thiết kế nhằm thu thập thông tin phê phán cần thiết để cải tiến các máy đo lưu lượng thích ứng với công việc.

Cũng phải tính đến những tiến bộ công nghệ đương đại. Sai lầm thông thường là lựa chọn một thiết kế đã phổ biến vào những năm trước đối với ứng dụng đã định, cho rằng đó vẫn còn là sự lựa chọn tốt nhất. Biết đâu trong khoảng thời gian ấy có thể đã xảy ra nhiều đổi thay và phát kiến trong công nghệ máy đo lưu lượng đối với ứng dụng cụ thể, làm cho khả năng lựa chọn đã trở nên rộng rãi hơn.

6.1.9 Lắp đặt và bảo trì sửa chữa.

Các cảm biến lưu lượng chất khí hoạt động có hiệu quả nhất trong những phần đường ống hoặc đoạn ống dẫn có hình dạng đồng nhất, cho triển khai hoàn toàn dòng chảy. Nhằm làm cho phép đo có khả năng hiện thực, tất cả các dụng cụ cảm biến dòng khí nên lắp đặt theo đúng hướng chảy của ống dẫn đầu dòng và cuối dòng mà nhà sản xuất đã chỉ định. Một số nhà sản xuất cung cấp các phần tử làm thẳng dòng chảy, có thể lắp vào đầu dòng chỗ bố trí cảm biến nhằm cải thiện những điều kiện dòng chảy không mong muốn. Nên tính đến những phần tử này khi những điều kiện không cho phép lắp đặt theo yêu cầu chảy thẳng của phần ống dẫn trước và sau cảm biến.

Tất cả các cảm biến lưu lượng chất lỏng cũng sẽ làm việc tốt nhất khi dòng chảy đồng nhất, triển khai hết lưu lượng. Nên lắp đặt các cảm biến theo dòng chảy thẳng từ đầu ống tới cuối ống để có được phép đo hiện thực nhất.

Mặc dù nhiều nhà cung ứng có dịch vụ lắp đặt máy đo lưu lượng, vẫn có một tỷ lệ cao những người sử dụng chọn cách tự mình lắp đặt. Điều đó có thể dẫn tới những sai sót trong lắp đặt, ví như không cho đường ống chảy đủ thẳng dòng từ đầu tới cuối như đã nêu ở trên. Mỗi thiết kế cảm biến có một lượng dung sai nhất định đối với những điều kiện vận tốc không ổn định trong đường ống, nhưng mọi dụng cụ đều đòi hỏi phải được cấu hình đường ống phù hợp để vận hành có hiệu quả, cho nên có một mẫu lưu lượng dòng chảy định mức được cung cấp theo thiết bị. Không có nó thì độ chính xác và việc vận hành cảm biến sẽ bị ảnh hưởng. Các máy đo lưu lượng đôi khi cũng lắp ngược lại được (đặc biệt là với các tấm ngăn có lỗ *orifice plates*). Các đường cảm biến áp suất cũng bị đảo ngược.

Với các phần tử linh kiện điện thành phần, thì sự an toàn thiết yếu *intrinsic safety* là nhận thức được những vùng nguy hiểm *hazardous areas*. Trong khu vực các xí nghiệp công nghiệp đều thấy có các từ trường tán xạ. Các đường điện năng lượng, các relays, các cuộn dây *solenoids*, các biến thế, động cơ, và các máy phát đều góp phần tạo nhiễu giao thoa điện-từ, và người sử dụng phải chắc chắn rằng máy đo lưu lượng mà họ đã chọn thuộc kiểu miễn nhiễm đối với những giao thoa như vậy. Đa số các vấn đề xảy ra với các phần tử điện tử là ở các thiết bị thứ cấp, phải được bảo vệ. Tuân thủ nghiêm ngặt những chỉ định của nhà sản xuất thường sẽ ngăn ngừa được những vấn đề như vậy.

Hiệu chuẩn.

Hiệu chuẩn ban đầu là yêu cầu đối với tất cả các máy đo lưu lượng; thông thường việc hiệu chuẩn xuất xưởng được thực hiện bởi nhà sản xuất. Tuy nhiên, nếu có sẵn những cán bộ có uy tín trong công việc này cũng có thể thực hiện bởi người mua. Sự cần thiết hiệu chỉnh lại máy đo tùy thuộc phần lớn vào việc máy đo phù hợp đến mức nào với ứng dụng cụ thể. Một số chất lỏng chảy qua máy đo lưu lượng là các chất có tính mài mòn, ăn mòn, hoặc gây sét rỉ, và với thời gian có thể có những bộ phận bị giảm giá trị đến mức đủ để ảnh hưởng tới hoạt

động của toàn máy đo. Một số cấu trúc nhạy cảm dễ bị tổn thương hư hỏng hơn những cấu trúc khác. Ví dụ, sự mài mòn một cánh quạt nào đó của turbine có thể làm cho hoạt động của cả turbine bị thay đổi. Đối với những ứng dụng quan trọng thì nên thử nghiệm một cách thường xuyên độ chính xác của máy đo. Trong những trường hợp khác, có thể không cần thiết việc hiệu chuẩn lại máy đo, bởi ứng dụng không quan trọng lắm hoặc bởi môi trường không ảnh hưởng tới hoạt động của máy. Một số máy đo lưu lượng đòi hỏi phải có những thiết bị đặc biệt để hiệu chuẩn. Đa số các nhà sản xuất sẽ cung cấp dịch vụ này bằng phương tiện của chính họ hoặc bằng phương tiện của người sử dụng, nơi mà họ sẽ mang thiết bị tới để hiệu chuẩn một cách hợp lệ.

Sửa chữa bảo trì.

Các máy đo lưu lượng không có bộ phận chuyển động thì ít cần chú ý hơn là những máy có bộ phận chuyển động, nhưng kết cục hết thảy các máy đo lưu lượng đều đòi hỏi phải được bảo dưỡng bảo trì.

Với các máy đo lưu lượng kiểu áp suất vi sai, các phần tử sơ cấp đòi hỏi các valves, các ống dẫn lớn, và vừa vận khi chúng được nối với các phần tử thứ cấp, cho nên việc bảo trì có thể phải tiến hành lặp đi lặp lại. Các đường xung có thể bị bít nghẽn hay bị ăn mòn dần, phải làm sạch hay thay thế. Các máy đo có bộ phận chuyển động đòi hỏi sự kiểm tra bên trong một cách định kỳ, đặc biệt là nếu chất lỏng cần đo là chất bị nhiễm bẩn hay dạng sệt. Việc lắp đặt các bộ lọc đằng trước các khối như thế có thể giúp giảm thiểu khả năng khuyết tật và hao mòn.

Các máy đo lưu lượng kiểu siêu âm hay điện-từ có thể có những vấn đề phức tạp hơn với các phần tử điện tử trong bộ phận thứ cấp của chúng. Các cảm biến áp suất tổ hợp với các phần tử thứ cấp cũng nên định kỳ tháo ra và kiểm tra.

Đối với các máy đo kiểu siêu âm hay điện-từ, ứng dụng ở những chỗ có thể xảy ra lớp phủ cũng biểu hiện những vấn đề tiềm

tàng. Nếu lớp phủ là chất cách điện, thì hoạt động của máy đo lưu lượng từ tính sẽ bị hư hỏng một cách tối hậu nếu các điện cực bị cách ly khỏi chất lỏng. Việc thường xuyên định kỳ làm sạch sẽ giúp ngăn chặn dạng hư hỏng này. Với các máy đo lưu lượng kiểu siêu âm, góc phản xạ có thể bị thay đổi và năng lượng mặt trời bị hấp thụ bởi lớp phủ sẽ làm cho máy đo không hoạt động được nữa.

6.1.10 Những tiến bộ kỹ thuật cảm biến lưu lượng.

Một nghiên cứu mới đây được thực hiện bởi Viện nghiên cứu dòng chảy và đường ống dẫn toàn cầu *Flow Research and Ducker Worldwide* chỉ ra rằng đã có một chuyển biến trong lĩnh vực đo lưu lượng, hướng tới những máy đo lưu lượng “công nghệ mới”. Những máy đo “công nghệ mới” được thăm định trong nghiên cứu như các máy đo kiểu từ tính, siêu âm, Coriolis, vortex, và kiểu áp suất vi sai đa biến *multivariable differential pressure meters*. Nói chung, chúng có bốn tiện ích:

1. Chúng đã được giới thiệu 50 năm lại đây.
2. Chúng đã hiện thực hoá những tiến bộ công nghệ, giải quyết những vấn đề cố hữu ở những máy đo lưu lượng kiểu cũ.
3. Chúng đã trở thành yếu tố chính hội tụ sự phát triển sản phẩm mới bởi các nhà sản xuất.
4. Tính năng hoạt động của chúng, kể cả độ chính xác, đều tốt hơn là công nghệ máy đo lưu lượng truyền thống.

Điển hình là những kiểu máy này còn cung cấp nhiều tiện ích khác. Đó là những khả năng phần mềm, những gói ứng dụng đặc trưng hơn, và các phương pháp cấu trúc cực kỳ lâu bền. Tự phân tích *self-diagnostics* là một trong những tiện ích như vậy mà người sử dụng mong đợi ở các máy đo lưu lượng.

Hiện nay đã xuất hiện những sáng chế với các máy đo kiểu áp suất vi sai, kể cả sự phát triển các bộ truyền phát áp suất vi sai *differential pressure transmitters* độ chính xác rất cao, việc sử dụng các

bộ phát dẫn đa biến *multivariable*, và các bộ phát dẫn áp suất vi sai tích hợp phần tử sơ cấp. Một phát triển đầy ý nghĩa là sự xuất hiện máy đo lưu lượng kiểu vi sai tích hợp *integrated differential flowmeter*. Trong quá khứ, người sử dụng mua các phần tử sơ cấp từ một hãng, còn các bộ phát dẫn thì mua của một hãng khác. Ngày nay, các bộ phát dẫn được chào mời với một phần tử sơ cấp tích hợp bên trong. nỗ lực ngày nay là hướng tới các bộ truyền dẫn chính xác hơn và linh hoạt hơn. Tuy nhiên, điều quan trọng là cần phải hiểu rằng bộ truyền dẫn chỉ là một phần tử trong cả hệ, và các biến khác đều có phần trong độ chính xác lưu lượng.

Với các máy đo lưu lượng kiểu siêu âm, một loạt dụng cụ có cấp chính xác mới và giá thành thấp cho các đường ống cỡ nhỏ (đường kính 1/4 inch. tới 2 inch) đã xuất hiện, dựa trên cơ sở các hệ vi cơ-điện tử (*MicroElectroMechanical System MEMS*) cảm biến siêu âm và trộn tín hiệu, mạch vi điều khiển tích hợp chuyên dụng (*application-specific integrated circuit ASIC*). Kỹ thuật này cung cấp một phương tiện khác so với các máy đo cơ học truyền thống hay các máy đo thể khối kiểu vortex đắt tiền đối với những ứng dụng cụ thể trong các đường ống có đường kính nhỏ. Đầu ra điện tử có thể thích ứng trực tiếp với điều khiển, quá trình và thiết bị kiểm tra. Cũng y như vậy, dụng cụ có thể thực hiện việc tự chỉnh. Nó rất thích hợp cho phép đo lưu lượng dòng khí sạch.



cuu duong than cong . com

BÀI 10

KỸ THUẬT CẢM BIẾN MỨC VÀ ĐỘ ẨM.

CHƯƠNG 6. CẢM BIẾN LƯU LƯỢNG, MỨC VÀ ĐỘ ẨM

PHẦN 2.

Mục tiêu bài này tập trung vào những khái niệm cơ bản và kỹ thuật cảm biến mức chất lỏng và chất khí (lưu chất) (phần 2) và độ ẩm; các ứng dụng trong kỹ thuật đo lường và điều khiển – gồm phần 2 của chương 6.

Nội dung cơ bản mà SV phải nắm được ở bài này là những vấn đề trọng tâm sau:

- Khái niệm đại cương về cơ học chất lưu (chất lỏng và khí) và mức, độ ẩm; những đặc điểm xác định chúng. Các loại phần tử cảm biến mức và độ ẩm ứng dụng trong kỹ thuật đo lường điều khiển, kết cấu, hoạt động chức năng, các đặc tính kỹ thuật, đặc điểm ứng dụng.
- Các vấn đề ứng dụng thực tiễn các phần tử cảm biến trong công nghiệp để có nhận thức và kỹ năng tổng hợp, thiết kế và chế tạo hệ thống cụ thể trong thực tế môi trường ứng dụng.
- Bài 10 tập trung trọng tâm là kỹ thuật cảm biến mức chất lỏng và độ ẩm chất khí (phần 2) bằng các phần tử cảm biến ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp và dân dụng.

Thời lượng bài giảng là 04 tiết/45 tiết lên lớp theo chương trình môn học là 03TC (45 tiết) và 04 tiết tự nghiên cứu.

6.2 Cảm biến đo mức.

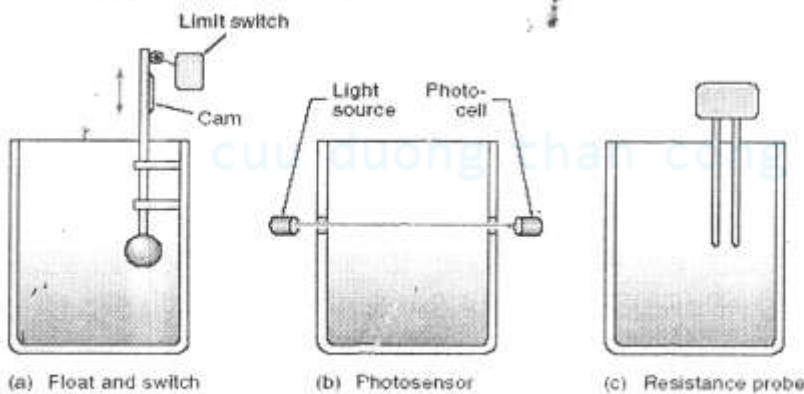
Khái niệm. Mức chất lỏng là chiều cao điền đầy (chất lỏng hay hạt) trong các thiết bị công nghệ. Đơn vị đo mức là đơn vị đo chiều dài. Như trên đã nói, việc cảm biến mức có quan hệ mật thiết với cảm biến

lưu lượng. Ứng dụng chung nhất trong cảm biến mức là đo bể chứa và điều khiển vận hành bể chứa. Ngày nay đã sẵn có nhiều công nghệ cảm biến mức, bao gồm từ các phương pháp đo mức kiểu phao cổ điển, kiểu điện môi trong cảm biến điện dung ... đến cả các phương pháp áp suất thủy tĩnh, siêu âm, điện dung cao tần RF, các phương pháp dựa trên cơ sở hiệu ứng từ giảo *magnetostrictive*, và các hệ đo xa radar.

Nói một cách khái quát, trong kỹ thuật đo lường và điều khiển các bể chứa, có thể phân các cảm biến mức thành hai loại: gián đoạn *discrete* và liên tục *continuous*. Các máy đo mức gián đoạn chỉ có thể phát hiện liệu chất lỏng có ở một mức nhất định nào đó hay không. Máy đo mức liên tục cung cấp một tín hiệu tỷ lệ với mức chất lỏng.

6.2.1 Máy đo mức kiểu gián đoạn.

Các máy đo mức kiểu gián đoạn xác định khi nào chất lỏng chảy vào bể chứa đạt tới một mức nhất định. Hình 6.15 giới thiệu một số dạng máy đo kiểu này. Một ứng dụng điển hình của kiểu cảm biến này là xác định khi nào ngừng chu kỳ điện đẩy mức nước của máy giặt. Có nhiều dạng cấu trúc máy đo mức kiểu phao – hình 6.15a minh họa một trong các dạng ấy, sử dụng cơ cấu phao *float* và công-tắc chuyển mạch giới hạn *limit switch*. Trong trường hợp này, phao được ghép nối với một cọc đứng *vertical rod*. Khi chất lỏng đạt một mức nhất định thì một cam ghép nối với cọc đứng sẽ kích hoạt công-tắc chuyển mạch giới hạn. Có thể điều chỉnh mức kích hoạt bằng cách đặt định lại hoặc cam hoặc chuyển mạch.



Hình 6.15 – Máy đo mức chất lỏng kiểu gián đoạn:

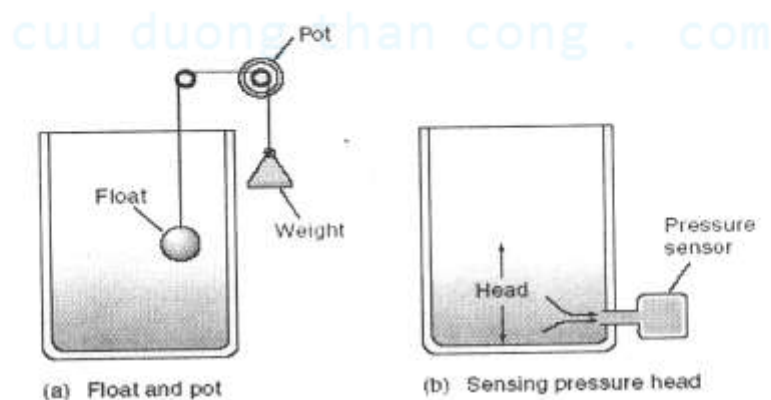
- a). Dạng phao và chuyển mạch;
- b). Dạng cảm biến quang điện;
- c). Dạng đầu dò điện trở.

Một kiểu máy đo mức khác dựa trên cơ sở tế bào quang điện (hình 6.15b). Khi mức chất lỏng ngập tia sáng thì tín hiệu máy dò quang điện *photodetector* sẽ thay đổi, nó chỉ thị sự hiện diện chất lỏng.

Nhiều chất lỏng – như nước đọng, các axit yếu, bia và cà phê (chỉ nêu một số làm ví dụ) – là chất dẫn điện nhẹ, cho phép thực hiện các phương pháp cảm biến khác. Như minh họa trên hình 6.15c, một đầu dò điện được treo lơ lửng trong chất lỏng. Khi chất lỏng đạt tới đầu dò thì điện trở trong mạch điện đột ngột giảm xuống. Ứng dụng thông thường nhất của kiểu cảm biến này là cảm biến chất làm nguội nhiệt độ thấp trong ô tô.

6.2.2 Máy đo mức kiểu liên tục.

Các máy đo mức kiểu liên tục cung cấp một tín hiệu ra tỷ lệ với mức chất lỏng. Có vô số cách thực hiện điều đó. Hình 6.16 minh họa một số dạng máy đo kiểu này.



Hình 6.16 – Các phương pháp đo mức kiểu liên tục:

a). Kiểu phao và ròng rọc; b). Cảm biến áp suất thủy tĩnh.

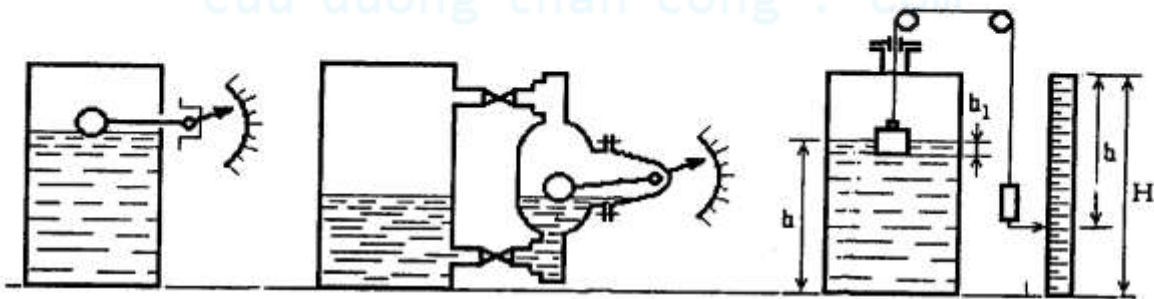
Cảm biến đo mức kiểu phao. Ngày nay mặc dù đã sẵn có nhiều công nghệ cảm biến đo mức tiên tiến, song trong nhiều ứng dụng cụ thể vẫn thông dụng phương pháp đo mức kiểu phao cổ điển. Ở đây chúng ta khảo sát một cách khái quát phương pháp này (xem hình 6.16 a). Một trong những phương án đo trực tiếp thông dụng nhất (được

dùng trong bình gas xe ô tô) là một cái phao gắn kết với một cảm biến vị trí.

Nguyên lý phương pháp: Chỉ thị mức theo vị trí tương đối của phao nổi trên mặt chất lỏng. Hình 6.17 minh họa nguyên lý các phương án cảm biến mức chất lỏng kiểu phao. Bộ phận chỉ thị có thể là chỉ thị kim hoặc biến đổi góc quay thành tín hiệu điện hay khí nén. Để truyền thông tin mức đi xa, có thể dùng hệ selsyn (trục selsyn phát ghép nối với tang quay của bộ phận động, còn trục của selsyn thu gắn với cơ cấu đếm).

Đặc điểm:

- o Thiết bị phao (a) dùng đo mức nhỏ có đường kính $(80 \div 200)[mm]$; thiết bị phao (b) dùng đo mức nhỏ có phạm vi đo $(-10 \div +10)[mm]$ đến $(-200 \div +200)[mm]$, cấp chính xác 1,5; thiết bị phao (d) dùng đo mức có phạm vi đo $(0 \div 12)[m]$ đến $(0 \div 20)[m]$, sai số tuyệt đối của phép đo là $(\pm 1,0 \div \pm 10)[mm]$.



Hình 6.17 – Sơ đồ nguyên lý các phương án cảm biến mức kiểu phao.

Cảm biến thủy tĩnh hydrostatic. Phép đo mức sử dụng áp suất thủy tĩnh vì sai dựa trên cơ sở nguyên lý là sự sai biệt áp suất thủy tĩnh giữa đoạn đầu và đáy của một cột chất lỏng có quan hệ với mật độ và độ cao của cột chất lỏng (xem hình 6.16b).

Các bộ truyền dẫn áp suất có sẵn được cấu hình cho các ứng dụng kiểm tra mức. Các máy đo áp suất cũng có thể lắp đặt từ xa *remote*. Tuy nhiên, điều đó đòi hỏi phải tiến hành hiệu chuẩn bộ

truyền dẫn tại hiện trường để bù trừ những sai biệt bậc thang giữa cảm biến và mức cần đo.

Các máy đo mức thủy tĩnh kiểu bọt *bubbler type* đã được phát triển để dùng với áp suất khí quyển sâu dưới mặt đất của các bể chứa, của hầm chứa rác phân và các ứng dụng khác không thể có bộ truyền dẫn được lắp vào dưới mức cần cảm biến, hay có khuynh hướng bị bít lại. Các hệ kiểu bọt để xì ra một lượng nhỏ hơi (hay khí gas) qua một ống nhúng trong chất lỏng, có đầu ra nằm ngang hay thấp hơn mức kiểm tra. Vận tốc khí được điều chỉnh sao cho có thể bỏ qua tổn thất áp suất khí trong ống và áp suất kết cục ở điểm bất kỳ trong ống vẫn xấp xỉ bằng đầu dò thủy tĩnh của chất lỏng trong bể chứa.

Độ chính xác của các máy đo mức kiểu thủy tĩnh có liên quan với độ chính xác của cảm biến áp suất được sử dụng.

Các bộ truyền dẫn áp suất vi sai linh hoạt (*smart differential-pressure DP*) có thể thích ứng với các phép đo mức và đang được dùng rộng rãi trong công nghiệp, tạo ra tính phổ biến trở lại của công nghệ cảm biến này. Bộ truyền dẫn linh hoạt và các tín hiệu điện 4 + 20 mA được dùng để truyền thông tới/từ các hệ điều khiển từ xa (*remote Distributed Control Systems DCSs*), các bộ điều khiển logic lập trình được (*Programmable Logic Controllers PLCs*), và các hệ điều khiển khác. Kỹ thuật đo bể chứa thủy tĩnh (*Hydrostatic Tank Gauging HTG*) là một ứng dụng sử dụng công nghệ này để đo một cách chính xác trữ lượng chất lỏng và kiểm tra sự truyền chuyển của bể chứa. Các phép đo mức có thể truyền mạng số liệu để tiếp cận máy tính từ xa.

Ở đây ta khảo sát nguyên lý áp suất thủy tĩnh vi sai đo mức chất lỏng bằng một ví dụ cụ thể đo áp suất ở đáy của bể chứa (xem hình 6.16b). Phương pháp này dựa trên thực tế là áp suất ở đáy bể (gọi là áp suất thủy tĩnh *head*) tỷ lệ thuận với mức chất lỏng, như thể hiện trong biểu thức (6.11).

$$P = d.H ; \quad (6.11)$$

ở đây: P – áp suất đo được ở đáy bể (áp suất thủy tĩnh *head*);
 d – tỷ trọng chất lỏng (trọng lượng chất lỏng trên một đơn vị thể tích);
 H – chiều cao cột nước trong bể.

Ví dụ: Hãy tính áp suất thủy tĩnh ở đáy bể chứa 10 feet nước.

Giải: Để sử dụng biểu thức (6.11) ta phải biết tỷ trọng chất lỏng (thường có thể tìm thấy trong sách tra cứu). Tỷ trọng của nước là khoảng 64 lb/ft^3 .

$$P = d.H = 64[\text{lb/ft}^3].10[\text{ft}] = 640[\text{lb/ft}^2].$$

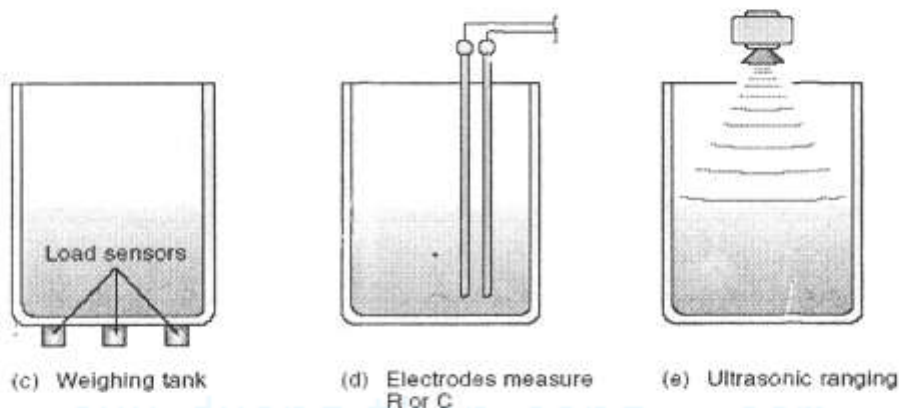
Có thể chuyển đổi kết quả này sang đơn vị áp suất [psi] (tức là bằng $[\text{lb/in.}^2]$):

$$640[\text{lb/ft}^2].\frac{1[\text{ft}^2]}{144[\text{in.}^2]} = 4,44[\text{lb/in.}^2].$$

Ta coi áp suất đo là $4,44$ [psi], có nghĩa là áp suất ở đáy bể lớn hơn áp suất ở bề mặt. Áp suất tuyệt đối ở đáy bể sẽ bằng:

$$4,44 \text{ [psi]} + 14,7 \text{ [psi]} = 19,1 \text{ [psi]}$$

(Áps. đo) (Áps. mtrường) (Áps. tuyệt đối)



Hình 6.18 – Các phương pháp đo mức kiểu liên tục:

c). PP cân bể chứa; d). PP điện cực đo R hoặc C; e). Kiểu siêu âm.

Các phương án đo mức kiểu liên tục khác trình bày trên hình 6.18. Việc kiểm tra trọng lượng chất lỏng bằng các tế bào tải trọng *load cells* là một kỹ thuật khác có thể dùng để xác định mức chất lỏng

(hình 6.18c). Khi đó có thể tính được mức chất lỏng nếu biết đường kính và trọng lượng của bể chứa (rỗng) và tỷ trọng của chất lỏng. Lưu ý rằng trọng lượng toàn bộ của bể chứa là tổng của các trọng lượng được báo về từ các tế bào tải trọng.

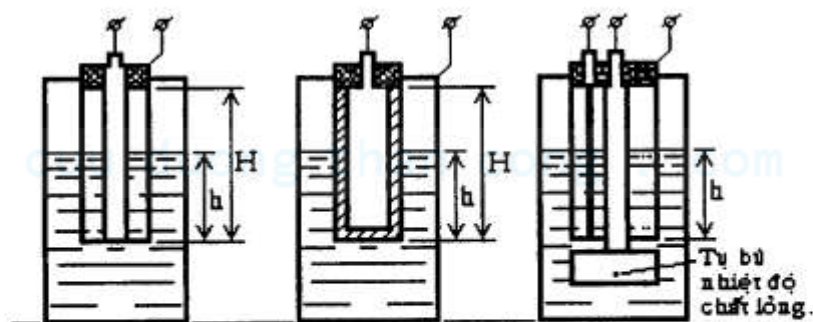
Một số máy đo có thể phát hiện mức chất lỏng một cách trực tiếp. Máy đo trong hình 6.18d đơn giản chỉ là hai điện cực đặt đứng bên trong bể. Tín hiệu ra của máy, có thể được khuếch đại và xử lý tiếp bằng cách nào đó, hoặc là trị số điện trở hay trị số điện dung tỷ lệ với mức cần đo. Tuy nhiên ở đây ứng dụng nguyên lý mà ngày nay đã được phát triển thành phương pháp cảm biến kiểu điện dung. Ta sẽ khảo sát cụ thể hơn về nó.

Cảm biến đo mức kiểu điện dung. Nguyên lý phương pháp là dựa vào sự thay đổi điện dung của cảm biến theo mức chất lỏng như là chất điện môi của tụ điện biến dung. Điện dung của một tụ điện hình trụ tròn là:

$$C = 2\pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{H}{\ln(D/d)}; \quad (6.12)$$

ở đây: ϵ - hằng số điện môi của chất lỏng; ϵ_0 - hằng số điện môi tương đối; H - chiều cao bản cực; D, d - đường kính ngoài và đường kính trong của bản cực.

Hình 6.19 giới thiệu nguyên lý cấu tạo một số cảm biến điện dung đo mức.



Hình 6.19 – Các phương án cảm biến điện dung đo mức chất lỏng cách điện.

Bộ phận cấu thành chủ yếu của cảm biến điện dung kiểu này là cấu hình tụ điện. Tụ điện (a) là hai bản cực đồng trục có hình trụ tròn. Tụ điện (b) có cấu tạo bình kín chứa chất điện môi khác chất lỏng. Phương án (c) có thêm tụ bù nhúng chìm trong chất lỏng để bù ảnh hưởng nhiệt độ của chất lỏng lên kết quả đo. Mạch đo thường là sơ đồ cầu đo điện dung.

Đặc điểm:

- Cấp chính xác 0,5; 1,0; 2,5.

Cảm biến đo mức kiểu siêu âm.

Các cảm biến đo mức kiểu siêu âm phát xạ các sóng âm, và bề mặt chất lỏng phản xạ sóng âm trở lại nguồn. Thời gian truyền chuyển tỷ lệ với khoảng cách giữa bề mặt chất lỏng và máy phát. Các cảm biến này là lý tưởng đối với việc cảm biến không tiếp xúc dùng đo mức của các chất lỏng dạng sệt như dầu nặng, mù cây, keo nhựa tổng hợp, và bùn, phân bón. Trong thực tế, đối với phương pháp này có những hạn chế sau:

- Bọt nổi trên bề mặt chất lỏng có thể hấp thụ sóng âm.
- Tốc độ âm thanh thay đổi theo nhiệt độ.
- Sự chảy rối có thể gây nên việc đọc chỉ số không chính xác.

Hình 6.18e giới thiệu một hệ cảm biến mức trực tiếp dựa trên cơ sở phương pháp cảm biến siêu âm. Hệ này dùng một máy dò siêu âm lắp bên trên bể chứa. Trọn bộ kể cả máy phát siêu âm và bộ phận điện tử có thể mua như các module và không đắt tiền lắm.

Cảm biến kiểu điện dung cao tần RF.

Các máy phát điện dung cao tần RF *Capacitance Level Transmitters* hoạt động theo nguyên lý là mạch điện dung có thể được tạo ra giữa đầu dò *probe* và thành bình. Điện dung thay đổi theo sự thay đổi mức chất lỏng, bởi vì mọi chất lỏng nói chung đều có hằng số điện môi cao hơn không khí. Đầu dò nối với một máy phát tần số radio được lắp bên ngoài bể chứa. Sự truyền dẫn mức đo có thể ở nhiều

dạng khác nhau, và thiết bị thu nhận có thể là máy tính PC, bộ vẽ đồ thị *chart recorder*, hay một hệ điều khiển kiểu phân bố (*Distributed Control System DCS*), một bộ điều khiển logic lập trình được (PLC), vv... Các cảm biến này rất có ích trong việc cảm biến mức của các đối tượng đa dạng, của các chất nước lỏng hay sệt hữu cơ và các chất bùn, chất lỏng hoá học như vôi sống *quicklime*.

Còn có các cảm biến mức kiểu đầu dò điện dung kép có thể dùng để cảm biến mặt tiếp giáp giữa hai chất lỏng có hằng số điện môi khác nhau. Các cảm biến này thô cục, dễ sử dụng, không có bộ phận chuyển động, dễ làm sạch. Chúng có thể được thiết kế cho những ứng dụng ở nhiệt độ và áp suất cao. Chúng là những biến dạng của các hệ dựa trên cơ sở cao tần *Radio Frequency RF* gọi là trở kháng cao tần *Impedance RF* và dẫn nạp cao tần *Admittance RF*. (Trở kháng là điện trở toàn phần đối với dòng chảy ở mạch xoay chiều AC hay cao tần RF; dẫn nạp là trị nghịch đảo của trở kháng và là thước đo mức độ dễ dàng lưu thông dòng trong mạch). Những kỹ thuật này cung cấp một số cải tiến phương pháp dựa trên cơ sở điện dung cao tần, kể cả khả năng hiện thực hoá tốt hơn và phạm vi ứng dụng rộng rãi hơn.

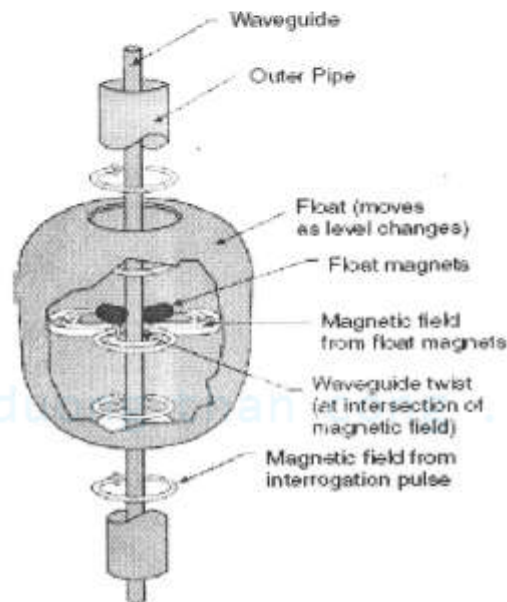
Cảm biến từ giảo.

Từ giảo là hiện tượng một vật đặt trong trường từ sẽ chịu tác dụng ứng suất kéo hay nén. Đối với các chất sắt từ, các lực tác dụng này đủ lớn có thể làm vật bị biến dạng. Các máy phát từ giảo đo mức *Magnetostrictive Level Transmitters* (hình 6.20) dựa trên nguyên lý là sử dụng một từ trường ngoài để tạo nên một sóng điện-từ phản xạ trong ống dẫn sóng làm bằng vật liệu từ giảo.

Đầu dò được tạo thành từ ba phần tử đồng tâm. Phần tử ngoài cùng là một ống bảo vệ phía ngoài. Bên trong ống bảo vệ ngoài là đường ống dẫn sóng, là phần tử được tạo dáng làm bằng vật liệu từ giảo. Một xung điện nhỏ thăm dò được tạo ra trong bộ phận điện tử của máy phát và phát ra ống dẫn sóng, tạo ra một trường điện-từ dọc theo chiều dài của đường ống. Khi từ trường này tương tác với từ

trường vịnh cứu của một nam châm lắp bên trong phao, gây nên một xung xoắn thẳng *torsional strain pulse*, hoặc tạo nên đường dẫn sóng chập đôi *waveguide twist*.

Đường dẫn sóng chập đôi này được phân tách như xung hồi về. Khoảng thời gian giữa thời điểm phát xung thăm dò ban đầu và thời điểm phát hiện xung hồi về được dùng để xác định mức đo với khả năng thực hiện và độ chính xác cao.



Hình 6.20 – Cảm biến đo mức kiểu từ giảo.

Trong thập kỷ gần đây, công nghệ vi sóng hay viễn thám radar dùng đo mức đã trở nên thông dụng hơn nhiều. Đây là một lĩnh vực phát triển nhanh. Một cách chính thức, công nghệ này chỉ mới được sử dụng cho những ứng dụng có độ chính xác cao, nhưng sự phát triển của các kỹ thuật mới và sản xuất loạt đã đưa công nghệ radar trở thành có khả năng cạnh tranh đối với nhiều kỹ thuật ứng dụng khác.

Cảm biến mức kiểu radar vi sóng.

Tất cả các kiểu đo mức radar sử dụng nguyên lý cơ sở là phóng ra các luồng vi sóng từ cảm biến đặt ở đầu bể chứa hoặc các dạng bình

chứa khác; một phần năng lượng phản xạ ngược trở lại cảm biến từ bề mặt của chất được đo. Khoảng thời gian chạy của tín hiệu được dùng làm thước đo mức.

Máy dò mức radar có thể chia ra thành hai lĩnh vực lớn:

- Radar qua không khí; và:
- Radar dẫn sóng (*guided wave radar* GWR), còn gọi là radar xung vi sóng (*microwaver impulse radar* MIR).

Loại cảm biến radar qua không khí có thể được phân tiếp ra thành hai nhánh:

- Thời gian sóng xung; và:
- Sóng liên tục điều biến tần số (*frequency-modulated continuous wave* FMCW).

Mặc dù cả hai phương pháp đều dùng các tín hiệu vi sóng phóng vào khoảng không phía trên chất cần đo, việc xử lý tín hiệu hồi đáp, thao tác và tính toán khoảng cách theo hai phương pháp là khác nhau.

Cảm biến kiểu radar dẫn sóng GWR.

Không như các hệ cảm biến radar qua khí, các cảm biến kiểu radar dẫn sóng GWR là một công nghệ sóng lan truyền *invasive*. Nó xuất hiện tương tự như công nghệ cảm biến dẫn nạp RF, nhưng không có những tính năng như đã nêu về các cực trị áp suất, nhiệt độ hay lớp phủ sản phẩm của công nghệ dẫn nạp cao tần RF.

Các xung năng lượng điện-từ được phát xạ từ nguồn máy phát phóng xuống đường dẫn sóng (một đường cáp hoặc thanh dẫn). Khi tín hiệu đạt tới điểm mà sự thay đổi hằng số điện môi xảy ra, thường là ở bề mặt của chất, phần nào đó của tín hiệu sẽ phản hồi lại. Do đó lượng tín hiệu hồi về tỷ lệ với sai biệt trong hằng số điện môi giữa đường dẫn sóng và chất cần đo. Nói ngắn gọn, các chất có tính điện môi/điện dẫn cao sẽ cho tín hiệu hồi đáp mạnh hơn.

Phép đo mức tự nó là một hàm thời gian từ khi phát xạ tín hiệu điện-từ tới lúc kết cục tiếng vọng *echo* được thu lại. Công nghệ radar này được coi như radar đo phản xạ theo miền thời gian (*time domain reflectometry* TDR). Sự lan truyền tín hiệu dọc theo đường dẫn sóng làm hạn chế những tiếng vọng giả và giúp giảm thiểu tổn thất tín hiệu do bụi và hơi nước. Cũng như vậy, hoạt động cảm biến cũng có thể thực hiện trong những ứng dụng có sự thay đổi độ ẩm hơi nước không khí hoặc sự biến động hằng số điện môi của sản phẩm. Tuy nhiên, nên lưu ý rằng giống như mọi kiểu đầu dò radar, các vật liệu có điện môi thấp có thể gây ra vấn đề. Thêm vào đó, đường dẫn sóng có thể bị hư hỏng hay ăn mòn.

Các hệ đều có sẵn các đường dẫn sóng đơn hoặc kép, tùy thuộc vào ứng dụng. Các hệ đường dẫn sóng kép hướng tới tính linh hoạt cao hơn một chút và thích hợp cho các phép đo giao tiếp, các vật liệu có điện môi thấp, hay những nơi có bọt nổi. Vị trí giao tiếp chất lỏng được xác định bằng cách dùng một phần xung điện-từ ban đầu mà không phản xạ lại bởi bề mặt của pha trên. Năng lượng này tiếp tục xuống đường dẫn sóng cho tới khi nó gặp giao tiếp chất lỏng/chất lỏng và một số phần trăm nào đó của nó sẽ phản xạ lại đầu dò. Phải biết được hằng số điện môi của pha phía trên để thực hiện một phép đo chính xác, bởi vì các bộ phận điện tử của đầu dò phải bù trừ sự thay đổi toàn phần trong vận tốc của xung điện-từ khi đi qua pha phía trên, bởi nó sẽ khác với tốc độ tín hiệu khi đi qua khoảng không.

Cảm biến kiểu radar qua không khí.

Cảm biến radar xung lượng *pulsed radar*, hay thời gian chạy của tín hiệu xung *pulsed time-of-flight*, cũng giống như phương pháp siêu âm dùng đo mức. Một xung radar được phát tới bề mặt của chất cần đo và khoảng thời gian để xung trở về được dùng để xác định mức. Phương pháp này dùng ít công suất hơn kiểu sóng liên tục điều biến tần số FMCW nhưng hoạt động của nó có thể bị ảnh hưởng bởi bọt nổi, những vật cản trong bình chứa, và các vật liệu có điện môi thấp.

Các hệ FMCW là không xâm thực và liên tục phát xạ tín hiệu tần số quét. Trong kiểu công nghệ radar này khoảng cách được rút ra từ sự khác biệt trong tần số giữa tín hiệu phát và tín hiệu thu ở bất kỳ thời điểm nào. Mặc dù kỹ thuật này cho một phép đo quy nạp *inferential*, nó có thể là phép đo cực kỳ chính xác. Mức đo xử lý tín hiệu kết hợp với các đầu đo radar FMCW và những yêu cầu về công suất đưa tới kết luận là các đầu dò hai dây kiểu này chỉ phù hợp với những ứng dụng đơn giản, đa số các ứng dụng khác đòi hỏi dụng cụ bốn dây.

Việc lựa chọn kiểu antenna và kích cỡ thích hợp là yếu tố quan trọng để nhận được một chùm tia hội tụ *focused beam* và sóng phản hồi *return echo* tương ứng. Cả hai loại antenna hình nón *cone* và dạng đĩa *parabolic dish antennas* đều được dùng trong kỹ thuật cảm biến qua không khí. Các antenna hình nón có xu hướng giữ tín hiệu trong đường truyền hẹp, hướng xuống; trong khi các antenna dạng đĩa *parabolic* hướng tới việc tạo ra một đường truyền tín hiệu rộng. Các yếu tố như bọt nổi trong bể chứa, các vật cản, và sự chảy rối có thể ảnh hưởng tới việc lựa chọn kiểu và kích cỡ antenna.

6.2.3 Lựa chọn công nghệ cảm biến mức.

Khi lựa chọn một phương pháp cho một ứng dụng cụ thể nào đó, phải chú ý đến nhiều yếu tố ngoài giá thành ban đầu. Những yếu tố quan trọng nhất về ứng dụng đo mức mà các nhà sản xuất cảm biến cần thiết là:

- Tên và các đặc trưng của vật liệu cần đo, liệu có phải là chất rắn hay chất lỏng, dạng sệt, dạng bột, hay dạng hạt. Hằng số điện môi K là đặc tính quan trọng đặc biệt, cũng như mật độ, độ nhớt, độ dẫn điện, và tính tương thích (dầu mỡ, chất nước, vv...).
- Thông tin quá trình, như áp suất và nhiệt độ, mức độ chảy rối, vật liệu bể hoặc bình chứa.
- Những yêu cầu về công suất.

- Ứng dụng chủ yếu của bình chứa có chứa vật liệu cần đo (tích trữ, tách lọc nước, hầm chứa, vv...), và kích cỡ, hình dạng của nó, và vị trí của bất kỳ vật ngăn nào (nếu có).

6.3 – Đo độ ẩm.

Khái niệm chung.

Độ ẩm được xác định như hàm lượng hơi nước trong không khí hoặc trong các chất khí *gases* khác. Theo thuật ngữ chuyên môn thì độ ẩm không khí là nồng độ hơi nước trong không khí. Độ ẩm thường được đo lường là:

- Độ ẩm tuyệt đối bằng khối lượng hơi nước có trong một đơn vị thể tích không khí hay chất khí *gas* (tính ra $[g/m^3]$);
- Điểm sương *dew point* (nhiệt độ và áp suất mà tại đó chất khí bắt đầu tích tụ hơi nước thành chất lỏng);
- Độ ẩm tương đối, hoặc RH (*Relative Humidity* RH) là tỷ lệ hàm lượng hơi ẩm *moisture* của không khí so với mức hơi ẩm bão hòa ở cùng nhiệt độ và áp suất; nói cách khác, là tỷ số giữa độ ẩm tuyệt đối với độ ẩm cực đại (khi hơi nước bão hòa) ở nhiệt độ và áp suất đang xét. Độ ẩm tương đối tính bằng [%RH].

Trên mặt đất, hàm lượng hơi nước trong không khí chiếm từ 0,2% khối lượng (ở những vĩ độ cao) đến 2,5% khối lượng (ở vùng chí tuyến). Trong điều kiện khí hậu bình thường, độ ẩm tương đối của không khí thích hợp nhất đối với con người là vào khoảng 40 – 60%.

Điểm sương là nhiệt độ mà môi trường cần hạ đến để hơi nước chứa trong đó trở thành bão hòa (điều kiện để đọng lại thành những giọt sương). Khi đó trong không khí (hay trên bề mặt những vật tiếp xúc với không khí) có thể thấy hơi nước ngưng tụ thành giọt sương rất nhỏ. Biết điểm sương, ta sẽ xác định được độ ẩm của không khí. Độ ẩm tương đối càng nhỏ (trời càng khô hanh), thì điểm sương càng thấp hơn

nhiệt độ đang có. Khi độ ẩm tương đối bằng 100% thì điểm sương trùng với nhiệt độ đang có.

Đã có thời độ ẩm tương đối được xác định bằng cách đo sự thay đổi hơi ẩm hấp thụ trong chất lụa *silk*, tóc người *hair* (ẩm kế tóc, ẩm kế bay hơi), và sau này là trong chất nylon và các chất tổng hợp khác. Các phương pháp cơ học đo độ ẩm tương đối RH đã được nêu từ những năm 1940. Ngày nay đã phát triển các loại cảm biến điện dung và trở kháng dựa trên cơ sở các chất polymer. Từ những năm đầu 1960, những tấm gương soi bị làm lạnh đã được dùng để đo điểm sương, nhưng ngày nay sự phát triển kỹ thuật cảm biến điện dung màng mỏng *thin film capacitive sensors* cho phép đo điểm sương ở nhiệt độ thấp cỡ -40°C mà giá thành thấp và độ chính xác cao hơn nhiều.

Độ ẩm không khí là một trong những đặc trưng quan trọng nhất của khí hậu và có ý nghĩa quan trọng đối với một số quá trình công nghệ. Trong khí quyển, độ ẩm tồn tại trong phạm vi rất rộng (từ vài phần triệu *ppm* đến hơi nước bão hoà ở 100°C), trong khoảng nhiệt độ lớn (từ -60 đến 1000°C), có thể lẫn tạp chất và hoá chất khác nhau. Độ ẩm chất lỏng là hàm lượng nước trong các chất lỏng khi nước không phải là thành phần cấu tạo cơ bản, như hàm lượng nước trong dầu mỡ, trong rượu ...

Các thông số quan trọng đặc trưng là:

- Áp suất hơi bão hoà $p_s(T)$ – áp suất hơi nước ở trạng thái cân bằng với nước thể lỏng ở nhiệt độ T nào đó, vượt quá giá trị này sẽ xảy ra quá trình ngưng tụ.
- Độ ẩm tuyệt đối của không khí bằng lượng hơi nước có trong một đơn vị thể tích không khí (tính ra g/m^3).
- Độ ẩm tương đối $RH\%$ - tỷ số áp suất riêng của hơi nước p_v và áp suất hơi bão hoà $p_s(T)$ ở nhiệt độ T :

$$RH\% = \frac{P_V}{P_S(T)} \cdot 100\% . \quad (6.13)$$

Thông số này được đo bằng ẩm kế điện trở và ẩm kế điện dung.

- Nhiệt độ tạo sương T_d [%] – nhiệt độ làm lạnh không khí để đạt trạng thái hơi nước bão hoà, sao cho $p_V = p_S(T)$. Thông số này được đo bằng ẩm kế ngưng tụ, ẩm kế hấp thụ, ẩm kế oxit nhôm, ẩm kế điện ly.
- Nhiệt độ ẩm T_h [$^{\circ}C$] – nhiệt độ cân bằng của một khối lượng nước hoá hơi tự nhiên với không khí. Thông số này được đo bằng hygrometers.

Phân loại ẩm kế. Ẩm kế là dụng cụ xác định độ ẩm của các chất khí, lỏng và rắn, kể cả các chất rắn ở thể rời (hạt). Để đo độ ẩm của không khí người ta dùng ẩm kế sương, ẩm kế tóc và ẩm kế bay hơi. Để đo độ ẩm của chất lỏng, người ta dùng ẩm kế điện dung hoặc ẩm kế điện dẫn. Để đo độ ẩm chất khí, người ta dùng ẩm kế hút ẩm điện hóa có gắn thiết bị bốc hơi. Để đo độ ẩm chất rắn người ta dùng những ẩm kế điện dung, điện dẫn, đồng vị phóng xạ và cả ẩm kế hấp thụ cộng hưởng.

Có thể phân loại cảm biến độ ẩm theo nguyên lý chủ yếu:

- Theo nguyên lý vật liệu cảm biến có những đặc tính liên quan với độ ẩm: cảm biến điện dung *capacitive*, điện trở *resistive*, và nhiệt dẫn *thermal conductivity*.
- Theo nguyên lý vật lý xác định độ ẩm trực tiếp: ẩm kế ngưng tụ, ẩm kế điện ly.

Những phát triển ngày nay trong công nghệ vật liệu bán dẫn đã hiện thực hoá các cảm biến độ ẩm theo nguyên lý vật liệu ứng dụng như cảm biến điện dung, điện trở hay nhiệt dẫn, ... có độ chính xác cao, lâu bền và hiệu quả giá thành. Các cảm biến đo độ ẩm chất khí (nitơ, hydro, metan, CO_2 , freon, ...), chủ yếu đo độ ẩm không khí khô trong

công nghiệp chế tạo linh kiện điện tử, trong kỹ thuật điều hòa không khí lại thường dùng các cảm biến theo nguyên lý vật lý như ngưng tụ hơi nước, điện ly, ... Ở đây chúng ta sẽ khảo sát cách thức cấu trúc mỗi loại cảm biến và cách sử dụng chúng đo độ ẩm.

6.3.1 Các công nghệ và kiểu dạng cảm biến.

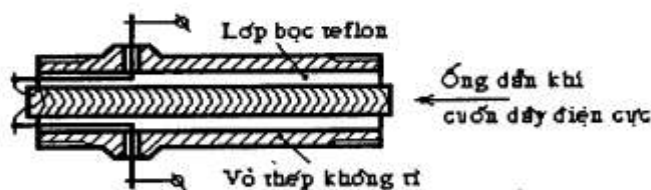
Ấm kế điện ly.

Nguyên lý hoạt động dựa trên cơ sở tương quan tỷ lệ dòng điện phân I trong ống cảm biến với nồng độ hơi nước ζ_V trong chất khí đi qua ống bị chất P_2O_5 hấp thụ, gây nên hiện tượng điện phân:

$$I = \frac{96500}{9000} \alpha \cdot Q_C \cdot \zeta_V = k \cdot \zeta_V ; \quad (6.14)$$

ở đây Q_C , [m^3/s] – lưu lượng chất khí đi qua ống.

Cấu tạo (hình 6.21). Bộ phận cấu thành chủ yếu là ống đo (dài khoảng 10 [cm]) cho chất khí cần đo độ ẩm chạy qua. Trong ống quấn hai dây Pt hay Rh làm điện cực có điện áp một chiều cỡ 70[V], giữa hai dây cuốn là chất P_2O_5 . Khi chất khí chạy qua ống, hơi nước mang theo sẽ bị lớp P_2O_5 hấp thụ và điện phân.



Hình 6.21 – Nguyên lý cấu tạo ấm kế điện ly.

Đặc điểm:

- o Dùng đo độ ẩm chất khí (nitơ, hydro, metan, CO_2 , freon, ...), chủ yếu đo độ ẩm không khí khô trong công nghiệp chế tạo linh kiện điện tử.

- Thời gian hồi đáp phụ thuộc chiều hướng tăng giảm độ ẩm chất khí: độ ẩm tăng (100 ÷ 1000) [ppm] thì thời gian đáp ứng $T_r < 30$ [s]; độ ẩm giảm (1000 ÷ 100) [ppm] thì thời gian đáp ứng tăng, có thể tới vài phút.
- Áp suất chất khí lưu thông qua ống đo (1,7 ÷ 8,0) [kg/cm^2], thường có bộ lọc khí đặt ở đầu vào.
- Cần định kỳ tái sinh chất dung môi P_2O_5 dù chúng tự động tái sinh trong quá trình điện phân, tùy theo điều kiện sử dụng và độ sạch chất khí.

Các cảm biến điện dung đo độ ẩm tương đối RH.

Nguyên lý cảm biến thông dụng nhất là sự thay đổi trở kháng, dựa trên cơ sở biến đổi đặc tính trở kháng điện của chất hút ẩm theo lượng nước hấp thụ, là hàm ổn định tuyến tính và có tính thuận nghịch.

Về nguyên lý cấu tạo có thể chia thành ba nhóm: Ẩm kế điện trở; ẩm kế tụ điện có điện môi polyme; ẩm kế tụ điện có điện môi oxit nhôm Al_2O_3 .

Các cảm biến điện dung đo độ ẩm tương đối RH được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp, thương mại và các ứng dụng quan trắc khí tượng từ xa. Chúng vượt trội trong cả hai lĩnh vực đo lường khí quyển và đo lường quá trình công nghệ, và là loại máy đo toàn thang đo độ RH duy nhất có khả năng hoạt động chính xác tới tận 0% độ RH. Nhờ có đặc tính kỹ thuật ít chịu ảnh hưởng nhiệt độ nên chúng thường được sử dụng trong phạm vi nhiệt độ rộng mà không phải bù nhiệt tích cực.

Ở các cảm biến điện dung đo RH, sự thay đổi hằng số điện môi hầu như tỷ lệ thuận với độ ẩm tương đối của môi trường. Điển hình là điện dung thay đổi cỡ (0,2 ÷ 0,5) pF khi độ RH thay đổi 1%. Điện dung thể khối *bulk capacitance* là khoảng (100 ÷ 500) pF ở 50%RH và 25°C. Các cảm biến này có hệ số nhiệt độ thấp và có thể hoạt động ở nhiệt độ cao đến 200°C. Chúng có thể chịu đựng sự bao phủ hoàn toàn bởi

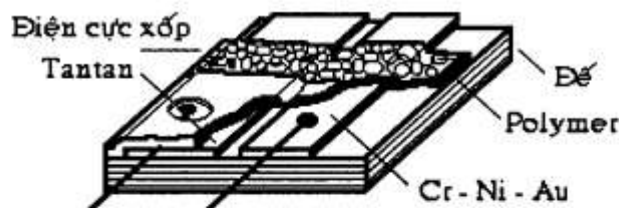
các chất ngưng tụ và có khả năng chống các hơi hoá chất. Thời gian đáp ứng trong khoảng từ 30 đến 60 giây đối với biến thiên bước nhảy độ RH 63%.

Cảm biến điện dung kiểu điện môi polymer. Nguyên lý cảm biến: Điện môi trong tụ là chất polyme hấp thụ phân tử nước, có hằng số điện môi ε phụ thuộc độ ẩm của polymer. Điện dung của tụ điện là:

$$C = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{L}; \quad (6.15)$$

ở đây: A – diện tích bản cực; L – độ dày màng polymer; ε_0 – hằng số điện môi tương đối (đối với chân không là $8,85 \cdot 10^{-12}$ [F/m], đối với nước là 80); ε – hằng số điện môi của polymer (biến thiên theo độ ẩm từ 2 đến 6).

Cấu tạo (hình 6.22, xem thêm hình 6.23): Điện cực tantan, lớp crom Cr dày (100 ÷ 10000) [Å] phủ lên lớp polymer (bằng phương pháp bay hơi trong chân không).



Hình 6.22 – Cảm biến điện dung polymer.

Đặc điểm:

- Đo độ ẩm tương đối RH%, ít chịu ảnh hưởng nhiệt độ môi trường, cảm biến có thể nhúng nước.
- Phạm vi đo (0 ÷ 100) [%] trong dải nhiệt độ (-40 ÷ +80 ÷ +100) [°C] với độ chính xác ±(2,0 ÷ 3,0)%; thời gian đáp ứng cỡ vài giây.

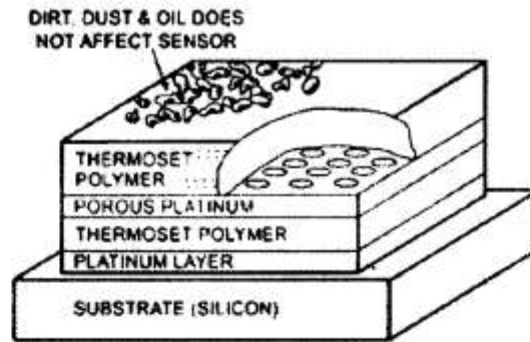
Cảm biến điện dung kiểu điện môi oxit nhôm. Cấu tạo gồm một điện cực làm bằng nhôm tấm, lớp điện môi chính là bề mặt tấm nhôm được anode hoá thành chất điện môi Al_2O_3 (có chiều dày nhỏ hơn $0,3 [\mu m]$ để khắc phục ảnh hưởng áp suất riêng của hơi nước lên trị số điện dung của tụ), điện cực kia là một màng kim loại mỏng trên bề mặt lớp điện môi.

Đặc điểm:

Đo nhiệt độ điểm sương, có thể đo độ ẩm tuyệt đối; kích thước nhỏ, nhưng cảm biến không đồng nhất, phi tuyến, cần hiệu chuẩn riêng và thiết bị đo thứ cấp phải được định kỳ kiểm chuẩn, sử dụng trong môi trường tránh ăn mòn.

Phạm vi đo $(-80 \div +70)[^\circ C]$ trong dải áp suất rộng (từ chân không đến hàng trăm *bar*); thời gian đáp ứng cỡ vài giây.

Các cảm biến điện dung đo RH dạng polymer chịu nhiệt (*Thermoset Polymer-Based Capacitive*) phát hiện trực tiếp những thay đổi về độ bão hoà tương đối *relative saturation* như là sự thay đổi điện dung của cảm biến với thời gian đáp ứng nhanh, độ tuyến tính cao, tính trễ *hysteresis* thấp, và có tính ổn định lâu bền cực cao. Độ bão hoà tương đối cũng giống như độ ẩm tương đối của môi trường xung quanh khi nhiệt độ của cảm biến bằng nhiệt độ môi trường. Bởi vì thường luôn như vậy, nên khi đó sự thay đổi điện dung của cảm biến là thước đo sự thay đổi độ RH. Những cảm biến này sử dụng chất polymer chịu nhiệt được chế xuất và thử nghiệm ở quy mô công nghiệp, có cấu trúc ba lớp điện dung, các điện cực platin và đối với những phương án nhiệt độ cao thì còn có bộ chuẩn hóa tín hiệu điện áp ra dạng vi mạch tích hợp bên trong chip (xem hình 6.23).



Hình 6.23 – Cảm biến độ ẩm tương đối RH ba lớp điện dung và polymer chịu nhiệt.

Khi hoạt động, hơi nước trong lớp điện môi của điện dung tích cực cân bằng với chất khí xung quanh. Lớp platin xốp *porous* ngăn chặn chất điện môi khỏi bị những ảnh hưởng bên ngoài, trong khi lớp bọc polymer bảo vệ chống tác động cơ học cho lớp platin khỏi bị nhiễm bẩn bởi bụi bặm và dầu mỡ. Lớp bám bẩn dày đặc sẽ làm thời gian đáp ứng của cảm biến kéo dài, bởi thời gian cân bằng hơi nước trong cảm biến cũng sẽ bị kéo dài.

Các cảm biến điện dung dạng polymer chịu nhiệt *thermoset*-, ngược lại với dạng chất dẻo nóng *thermoplastic*-, cho phép nhiệt độ vận hành cao hơn và chịu đựng được các hoá chất lỏng và hơi như isopropyl, benzene, toluenne, formaldehydes, dầu mỡ, các chất tẩy thông dụng, và hơi amoniác với nồng độ thông thường như trong chuồng gà, chuồng heo. Thêm vào đó, các cảm biến đo RH dạng polymer chịu nhiệt có tuổi thọ vận hành lâu bền nhất trong các quá trình công nghệ khử trùng ethylene oxide (ETO). Các cảm biến điện dung polymer màng mỏng chịu nhiệt đã chứng tỏ là loại cảm biến có những đặc tính đáp ứng hầu như lý tưởng đối với độ RH, tương phản với độ ẩm tuyệt đối (tức là áp suất hơi nước).

Đáp ứng này là nhờ có lực G dẫn động năng lượng tự do cho hấp thụ:

$$G = R.T.\ln(P/P_0); \quad (6.16)$$

ở đây: G – lực dẫn động; R – hằng số khí; T – nhiệt độ môi trường đo; P – áp suất riêng của hơi nước; P_0 – áp suất hơi nước bão hoà.

P/P_0 bằng độ RH môi trường nếu nhiệt độ cảm biến bằng nhiệt độ môi trường. Nếu nhiệt độ cảm biến cũng bằng T thì mức bão hoà tương đối sẽ đưa đáp ứng của cảm biến lên đến 100%.

Các nghiên cứu cũng chỉ ra rằng việc hiệu chuẩn cảm biến độ RH trong không khí có thể áp dụng cho phép đo độ bão hoà tương đối trong dầu trong phạm vi 0,3% (kết quả có thể mở rộng cho các hoá chất lỏng tương đương khác).

Các cảm biến độ ẩm kiểu điện trở.

Cấu tạo đơn giản là trên diện tích nhỏ của điện trở (vài mm^2 - để có đáp ứng nhanh) phủ một lớp chất hút ẩm, hai điện cực làm bằng kim loại không bị oxy hoá. Mạch đo có thể là một mạch phân áp mắc nối tiếp điện trở cảm biến với một điện trở bù nhiệt độ. Máy đo có thể khắc vạch trực tiếp độ ẩm tương đối RH của môi trường.

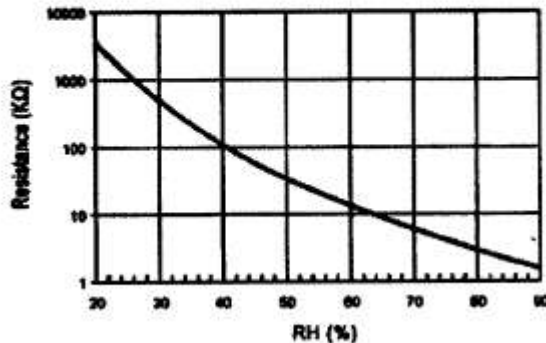
Đặc điểm:

- Đo độ ẩm tương đối RH%, ít chịu ảnh hưởng ô nhiễm môi trường, kích thước nhỏ (thời gian đáp ứng cỡ 10[s]), giá thành thấp.
- Phạm vi đo (15 ÷ 99)[%] trong dải nhiệt độ (-10 ÷ +60)[°C] với độ chính xác ± 2,0[%].

Các cảm biến độ ẩm kiểu điện trở đo sự thay đổi trở kháng thường có quan hệ hàm mũ nghịch đảo với độ ẩm (hình 6.24). Một cách điển hình, đó là phép đo sự thay đổi trở kháng của một vật liệu như chất polymer điện dẫn *conductive polymer*, muối, hoặc chất nền đã qua chế biến *treated substrate*.

Cảm biến độ ẩm đầu tiên được sản xuất loạt là cảm biến kiểu Dunmore. Được chế xuất năm 1940, nó vẫn còn được sử dụng rộng rãi

trong ứng dụng điều khiển điều hòa không khí chính xác và kiểm tra các đường truyền dẫn, các antenna và ống dẫn sóng dùng trong viễn thông.



Hình 6.24 – Quan hệ giữa sự thay đổi trở kháng theo độ ẩm

Các cảm biến độ ẩm kiểu điện trở mới nhất sử dụng kỹ thuật phủ men sứ *ceramic coating* để chống lại ảnh hưởng môi trường có ngưng tụ hơi nước. Các cảm biến này được cấu trúc với các điện cực kim loại quý *noble* được kết tủa bởi quá trình quang trở *photoresist*, và bề mặt chất nền được phủ bằng hỗn hợp gắn kết điện dẫn polymer/ceramic. Cảm biến được đặt trong một vỏ bảo vệ bằng chất dẻo plastic.

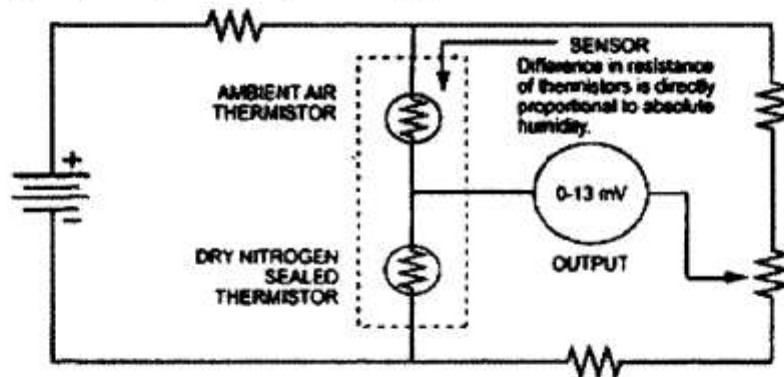
Tính thay thế lặp lại là hơn 3% độ RH trên suốt phạm vi (15 – 95)% RH, trong khi độ chính xác được xác nhận ở mức $\pm 2\%$ RH. Khoảng thời gian hồi phục *recovery time* đối với các cảm biến điện trở từ sự ngưng tụ hơi nước hoàn toàn tới 30% là vài phút. Điện áp ra tỷ lệ thuận với độ ẩm tương đối của môi trường nếu sử dụng bộ chuẩn hoá tín hiệu. Đối với đa số các cảm biến điện trở, thời gian đáp ứng là từ 10 tới 30 giây đối với sự thay đổi bước nhảy độ ẩm 63%, trong khi trở kháng biến thiên trong phạm vi từ 1 kΩ tới 100 MΩ.

Các cảm biến độ ẩm kiểu nhiệt dẫn *thermal conductivity*.

Các cảm biến độ ẩm kiểu nhiệt dẫn *thermal conductivity* (còn gọi là cảm biến độ ẩm tuyệt đối) đo độ ẩm tuyệt đối bằng cách tính toán sự sai biệt giữa độ nhiệt dẫn của không khí khô và không khí có chứa hơi nước. Trong thực tế, các cảm biến độ ẩm kiểu này sử dụng

một hệ có hai phần tử thermistors trong mạch cầu đo, có khả năng làm việc trong môi trường nhiệt độ cao hoặc thậm chí ngập nước.

Các cảm biến này được cấu trúc bằng cách dùng hai phần tử thermistor có hệ số nhiệt độ âm (NTC) trong một mạch cầu đo. Một trong các phần tử được nhúng trong chất nitơ khô, còn phần tử kia được đưa ra môi trường cần đo (xem hình 6.25). Sự sai biệt điện trở giữa hai thermistors tỷ lệ thuận với độ ẩm tuyệt đối.



Hình 6.25 – Cảm biến độ ẩm kiểu nhiệt dẫn (hoặc cảm biến độ ẩm tương đối).

6.3.2 Lựa chọn và đặc tính kỹ thuật của các cảm biến độ ẩm.

Phần tiếp theo đây sẽ nêu những khác biệt giữa các loại cảm biến kể cả về nhiệt độ, độ chính xác và khả năng thay thế lắp lẫn. Những ưu, nhược điểm của mỗi loại cũng được nêu bật.

Lựa chọn cảm biến độ ẩm. Những nhận thức quan trọng khi chọn lựa cảm biến độ ẩm bao gồm:

- Độ chính xác.
- Tính thay thế lắp lẫn.
- Tính lặp lại đặc tính kỹ thuật.
- Tính ổn định.
- Khả năng phục hồi sau ngưng tụ hơi nước.
- Tính kháng nhiễm tạp chất, chất bẩn.

- Kích cỡ và bao gói.
- Hiệu quả giá thành.
- Giá thành thay thế cảm biến.
- Hiệu chuẩn.
- Tính phức hợp và hiện thực hoá quá trình chuẩn hoá tín hiệu và mạch thu thập dữ liệu.

Nói chung, các điều kiện môi trường đối với một ứng dụng đã cho sẽ chi phối quyết định việc chọn lựa cảm biến nào.

Lựa chọn cảm biến RH kiểu điện dung. Các ứng dụng đối với cảm biến độ RH kiểu điện dung chiếm một phạm vi rộng, bao gồm:

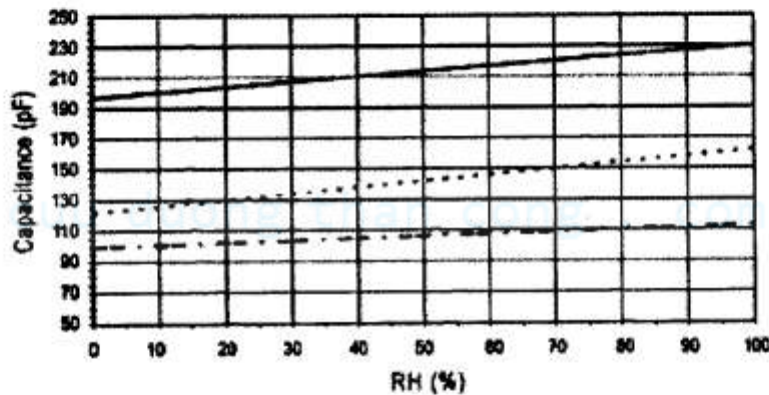
- Các thiết bị bên trong ô tô như bộ phận chống đóng băng kính chắn gió *windshield defrosters*.
- Các máy in máy tính.
- Các thiết bị y tế như quạt thông gió và lò ấp.
- Những ứng dụng dân dụng như lò vi sóng, tủ lạnh, máy sấy quần áo.
- HVAC.
- Các máy thu và ghi lưu dữ liệu.
- Bộ phận phát hiện rò rỉ.
- Các trạm khí tượng.
- Thiết bị công nghiệp và xử lý thực phẩm.
- Buồng thử môi trường.

Tiếp nhận những tiến bộ nguyên lý cutting-edge trong lĩnh vực thiết kế chế tạo chất bán dẫn, nhiều cảm biến điện dung đã có được đặc tính độ trôi và độ trễ *drift and hysteresis* tối thiểu và lâu bền. Việc ứng dụng công nghệ CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) trong các bộ phát xung định thời *timer pulses* giúp cho cảm biến tạo được tín hiệu điện áp ra gần tuyến tính (xem hình 6.26).

Độ bất định của cảm biến điển hình là $\pm 2\%$ RH trong phạm vi độ RH từ 5% tới 95% sử dụng hiệu chuẩn hai điểm. Hiệu ứng điện dung của đường cáp nối liên quan với những thay đổi điện dung nhỏ của cảm biến hạn chế khoảng cách lắp đặt phần tử cảm biến tới mạch chuẩn hoá tín hiệu trong phạm vi thực tế là ngắn hơn 10 feet.

Việc điều chỉnh tinh *laser trimming* có thể giảm thiểu độ biến động $\pm 2\%$, làm tăng khả năng thay thế lắp lẫn trực tiếp tại hiện trường.

Các chương trình máy tính hiệu chuẩn lại *recalibration programs* cũng có khả năng bổ chính *compensating* cho điện dung cảm biến từ 100 đến 500 pF.



Hình 6.26 – Điện áp ra của cảm biến có bộ định thời CMOS.

Các cảm biến RH kiểu điện dung là không tuyến tính dưới vài phần trăm độ RH, đó là lý do tại sao nhiều cảm biến trong các hệ đo lường điểm sương lại dùng các mạch vi xử lý để lưu giữ các dữ liệu hiệu chuẩn. Phát triển này đã giúp giảm giá thành các máy đo độ ẩm *hygrometers* và các máy truyền phát trong HVAC và các ứng dụng thám báo khí tượng viễn thông.

Ưu điểm:

- Điện áp ra gần như tuyến tính.
- Phạm vi đo độ RH và dung sai ngưng tụ hơi nước rộng.
- Tính thay thế lắp lẫn, nếu dùng điều chỉnh tinh bằng laser.

- Tính ổn định trong thời gian dài sử dụng.

Nhược điểm: Khoảng cách từ phần tử cảm biến tới mạch chuẩn hoá tín hiệu bị giới hạn.

Lựa chọn cảm biến độ ẩm kiểu điện trở.

Các cảm biến kiểu điện trở là những cảm biến độ ẩm loại nhỏ, giá thấp mà lại có độ ổn định lâu bền và tính thay thế lắp lẫn cao. Chúng phù hợp cho nhiều ứng dụng công nghiệp, thương mại và dân dụng, đặc biệt là trong kiểm tra và chỉ thị chất lượng sản phẩm.

Các cảm biến điện trở có đáp ứng phi tuyến đối với sự thay đổi độ ẩm, nhưng có thể tuyến tính hoá bằng các phương pháp tương tự analog hay phương pháp số digital. Phạm vi biến thiên điện trở điển hình là từ vài kilohm tới hàng trăm megaohm. Tần số kích thích định mức là từ 30 Hz đến 10 kHz.

Các cảm biến độ RH có tính thay thế lắp lẫn cao (trong phạm vi $\pm 2\%$ RH). Mạch điện tử chuẩn hoá tín hiệu có thể được hiệu chuẩn tại một điểm RH cố định, hạn chế sự cần thiết các chuẩn độ ẩm. Độ chính xác có thể được kiểm nghiệm tại một buồng hiệu chuẩn RH hoặc bằng một hệ hiệu chuẩn dùng máy tính tham chiếu tới một môi trường tiêu chuẩn. Các cảm biến kiểu điện trở có nhiệt độ làm việc định mức trong phạm vi từ -40 tới $+100^\circ\text{C}$.

Tuổi thọ cảm biến mong đợi là ít hơn 5 năm trong các ứng dụng thương mại và dân dụng, nhưng sử dụng trong các điều kiện bám bẩn có thể gây ra những hỏng hóc vĩnh viễn. Các cảm biến kiểu điện trở cũng có xu hướng suy đồi chỉ số *shift values* chỉ thị trong quá trình bốc lộ cho hơi nước ngưng tụ khi sử dụng các lớp phủ hòa tan được trong nước.

Ưu điểm:

- Không cần chuẩn hiệu chỉnh, có tính thay thế lắp lẫn cao và khả năng thay thế tại hiện trường.
- Có tính ổn định lâu bền.

- Có khả năng sử dụng từ những vị trí lắp đặt xa.
- Kích thước nhỏ.
- Giá thành thấp.

Nhược điểm:

- Việc bộc lộ với hơi hoá chất và bám bẩn có thể gây nên những hỏng hóc vĩnh viễn.
- Trị số đo có thể bị suy dời bởi sử dụng lớp phủ hoà tan được trong nước.

Lựa chọn cảm biến kiểu nhiệt dẫn.

Các cảm biến độ ẩm kiểu nhiệt dẫn nói chung được sử dụng trong các thiết bị máy móc, kể cả máy sấy quần áo và lò vi sóng. Chúng được sử dụng trong nhiều ứng dụng công nghiệp, kể cả các lò sấy gỗ, máy sấy, bào chế dược phẩm, nấu ăn và khử nước trong thực phẩm

Được cấu trúc từ thủy tinh, vật liệu bán dẫn, chất dẻo nhiệt độ cao, và nhôm, các cảm biến nhiệt dẫn là loại lâu bền và có tính năng chịu được hơi hoá chất.

Chúng cho độ phân giải cao hơn so với các cảm biến kiểu điện dung và kiểu điện trở ở nhiệt độ lớn hơn 200° F. Độ chính xác điển hình là +3 [g/m³], được chuyển đổi thành gần ± 5% RH ở 40° C và ± 0,5% RH ở 100° C.

Ưu điểm:

- Rất lâu bền.
- Hoạt động tốt ở môi trường ăn mòn và nhiệt độ cao tới 575° F.
- Có độ phân giải tốt hơn các cảm biến kiểu điện dung và điện trở.

Nhược điểm:

- Đáp ứng với chất khí bất kỳ có các tính chất nhiệt khác với nitơ lỏng, điều này có thể ảnh hưởng tới phép đo.

6.3.3 Khai thác sử dụng.

Các hiệu ứng độ ẩm và nhiệt độ.

Đầu ra của tất cả các cảm biến độ ẩm dựa trên cơ sở hấp thụ (điện dung, điện trở khối, màng điện dẫn, vv...) đều chịu ảnh hưởng của nhiệt độ và độ %RH. Bởi vậy nên việc bổ chính nhiệt độ được dùng trong các ứng dụng nhằm tăng độ chính xác hoặc mở rộng phạm vi nhiệt độ vận hành.

Khi việc hiệu chỉnh cảm biến độ ẩm là để bổ chính nhiệt độ, thì tốt hơn cả là làm sao cho nhiệt độ đo càng gần với nhiệt độ chỗ làm việc của cảm biến càng tốt – tức là trong cùng điều kiện độ ẩm vi khí hậu môi trường làm việc. Điều này đặc biệt thực tế khi việc phối hợp độ RH và nhiệt độ trong phương pháp đo điểm sương. Các máy đo công nghiệp độ ẩm và điểm sương có tổ hợp một điện trở nhiệt platin RTD 1000 ohm ở mặt sau nền gốm của cảm biến để sự bổ chính nhiệt độ không ảnh hưởng đến tính nguyên vẹn của phép đo. Trong các cảm biến nhiệt độ cao này không có bộ phận chuẩn hoá tín hiệu tích hợp trong chip.

Điện áp đầu ra.

Một cảm biến độ ẩm với mạch tích hợp độ ẩm tương đối (*Relative Humidity Integrated Circuit – RHIC*) có tín hiệu điện áp ra tuyến tính là hàm của V_{supply} , %RH và nhiệt độ. Đầu ra là “tương quan tỷ lệ” “*ratiometric*”, bởi khi điện áp cung cấp tăng lên thì điện áp đầu ra tăng lên theo cùng tỷ lệ. Một bản vẽ bề mặt của đặc tính cảm biến đối với nhiệt độ trong khoảng 0° C và 85° C được nêu trên hình 6.27.

Đồ thị bề mặt này được xấp xỉ hoá gần đúng bởi sự kết hợp hai đẳng thức:

1. “Đặc tuyến phù hợp nhất ở 25 °C”, (“*Best Fit Line at 25 °C*”) hoặc tương tự đẳng thức đặc tính cảm biến ở 25 °C (*sensor-specific equation at 25 °C*). Đặc tuyến “điển hình” độc lập của cảm biến phù hợp nhất ở 25 °C (đường đậm nét trong đồ thị) là:

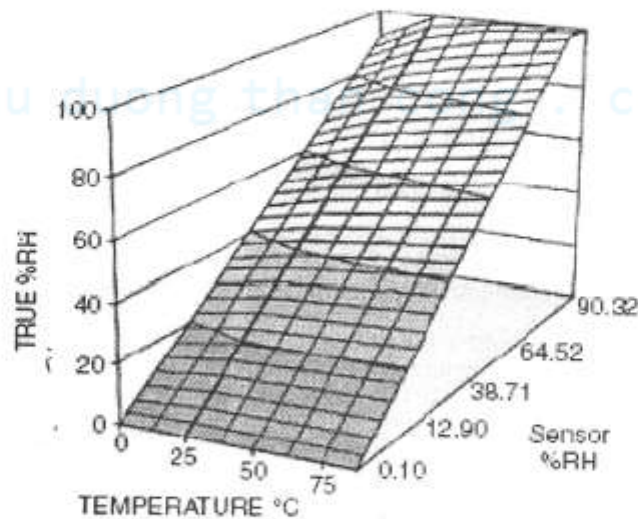
$$V_{out} = J.V_{sup ply} [0,0062(\%RH) + 0,16]. \quad (6.17)$$

Một đẳng thức đặc tính cảm biến có thể có được bởi ấn bản của cảm biến RH. Đẳng thức ấn bản giả thiết là $V_{sup ply}$ J5VDC và kèm theo hay sẵn có như một tùy chọn cho cảm biến.

2. Một đẳng thức cảm biến độc lập dùng hiệu chỉnh chỉ số %RH (từ đẳng thức đặc tuyến phù hợp nhất) đối với nhiệt độ T là:

$$TrueRH = (\%RH)/(1,0546 - 0,00216T); \quad T = ^\circ C; \quad (6.18)$$

hoặc: $TrueRH = (\%RH)/(1,093 - 0,0012T); \quad T = ^\circ F. \quad (6.19)$



Hình 6.27 – Đồ thị bề mặt của đặc tính cảm biến.

Các đẳng thức trên minh họa bản vẽ bề mặt điển hình (đặc tuyến phù hợp nhất ở 25 °C) hoặc bản vẽ bề mặt thực tế (đẳng thức đặc tính cảm biến ở 25 °C) với phạm vi dung sai nêu dưới đây:

±1% đối với $T > 20^\circ C$

±2% đối với $10^\circ C < T < 20^\circ C$

$\pm 5\%$ đối với $T < 10^\circ \text{C}$.

Các máy đo điểm sương có thể minh họa trực tiếp cho phương án đặc tính cảm biến có bản vẽ bề mặt thông qua một bảng tra.

Lưu ý: Hãy chuyển đổi điện áp ra thu được thành trị số %RH thông qua đẳng thức đầu tiên (6.17) trước khi áp dụng đẳng thức thứ hai (6.18) hay (6.19).

Ngưng tụ hơi nước và ẩm ướt.

Sự ngưng tụ hơi nước xảy ra khi nhiệt độ bề mặt của diện tích cảm biến tích cực hạ xuống dưới mức điểm sương của chất khí xung quanh. Sự ngưng tụ hơi nước hình thành trên cảm biến (hay bề mặt bất kỳ) thậm chí ngay cả khi nhiệt độ bề mặt chỉ tạm thời sụt xuống dưới mức điểm sương trong khoảng khắc. Những biến động nhiệt độ nhỏ gần cảm biến có thể gây ra ngưng tụ hơi nước một cách không lường trước được khi làm việc ở độ ẩm trên mức 95%.

Trong khi ngưng tụ nhanh, nước sẽ từ từ bay hơi trong những điều kiện độ ẩm cao (tức là khi nhiệt độ bề mặt của cảm biến chỉ cao hơn nhiệt độ điểm sương chút ít). Vì lý do đó mà chu kỳ hồi phục của cảm biến từ trạng thái ẩm ướt hay trạng thái ngưng tụ hơi nước sẽ lâu hơn nhiều so với thời gian đáp ứng định mức. Trong suốt quá trình hồi phục, cảm biến cho tín hiệu ra không đổi là 100% RH, bất chấp độ RH của môi trường thực tế là thế nào.

Nếu ứng dụng yêu cầu kiểm tra liên tục độ RH ở độ ẩm cỡ mức 90% và cao hơn, hãy tiến hành các bước ngăn ngừa sự can thiệp của hiện tượng ngưng tụ hơi nước. Một vài chiến thuật sau:

1. Giữ cho không khí được xáo trộn đều để giảm thiểu biến động nhiệt độ cục bộ.

2. Một vài cảm biến dùng bộ lọc bằng thép không rỉ dung kết *sintered* để bảo vệ cảm biến khỏi bị hắt nước. Biện pháp tiếp theo là bọc lớp chống ẩm *hydrophobic coating* ngăn ngừa ẩm ướt và ngưng tụ

hơi nước trong những môi trường có khung hướng nước bắn tung tóe hay có sự bão hoà – khử bão hoà hơi nước nhanh.

3. Làm nóng cảm biến sao cho điện tích tích cực của cảm biến nóng hơn nhiệt độ điểm sương cục bộ. Điều này có thể thực hiện bằng một bộ nung đặt bên ngoài hoặc bằng con chip đo độ RH kiểu CMOS tự làm nóng bằng cách cho nó hoạt động ở chế độ nguồn cung cấp cao hơn.

Lưu ý: Việc làm nóng cảm biến đo độ RH cao hơn nhiệt độ môi trường xung quanh sẽ làm thay đổi đặc tính hiệu chuẩn của nó và làm nó nhạy với những biến động nhiệt độ cũng như luồng khí.

Tích hợp chuẩn hoá tín hiệu.

Mọi cảm biến độ RH nhanh chóng hồi phục khỏi tình trạng ngưng tụ hơi nước hay tình trạng ẩm ướt mà không bị suy dời đặc tính hiệu chuẩn. Tuy nhiên, sau 24 giờ hoặc lâu hơn phơi mình trong độ ẩm cao (>95% RH) hoặc ngưng tụ hơi nước liên tục thì có thể xảy ra sự suy dời đặc tính từ 2%RH đến 3%RH. Sự suy dời này có tính lặp lại và có thể hồi ngược bằng cách đặt cảm biến vào một môi trường có độ RH thấp (10%RH) trong khoảng thời gian 10 giờ.

Các cảm biến độ ẩm silicon tích hợp có mạch chuẩn hoá tín hiệu bên trong vì mạch cùng với cảm biến kiểu điện dung. Các cảm biến tích hợp RHIC đo độ ẩm này là loại có điều hưởng tinh bằng laser sao cho ở $V_{supply} = 5\text{ V}$, điện áp ra nằm trong khoảng điển hình là từ 0,8 V tới 3,9 V đối với phạm vi biến thiên từ 0%RH tới 100%RH ở 25°C. (Ấn bản dữ liệu đặc tính hiệu chuẩn của cảm biến và đặc tuyến phù hợp nhất ở 25°C được kèm theo hay có sẵn như tùy chọn đối với các cảm biến này).

Các cảm biến tích hợp RHIC đo độ ẩm đã được hiệu chuẩn tại nhà máy, như là các dụng cụ vi năng lượng *micro-power devices* có đặc tính hiệu chuẩn riêng và/hoặc có tính thay thế lắp lẫn bộ-với-bộ *unit-to-unit* tốt. Các tiện ích này giúp các nhà sản xuất OEM tránh được giá

thành hiệu chuẩn độ ẩm tại nhà và tuổi thọ nguồn battery trong các thiết bị xách tay. Có thể nhận được độ chính xác gia tăng bằng cách điều chỉnh hệ điện tử để tương thích cho đặc tuyến phù hợp nhất ở 25° C của một cảm biến cụ thể nào đó.

Tính thay thế lắp lẫn xác định phạm vi điện áp ra đối với sự phổ biến bất kỳ của các cảm biến ở một điểm độ RH nhất định. Tính thay thế lắp lẫn trong khoảng ($\pm 5\% \div 0\%$)RH được so sánh với đặc tuyến ra cơ bản đối với chip vi mạch RHIC là từ (0,8÷3,9)V tương ứng ($0 \div 100$)%RH với điện áp kích thích là 5VDC.

Nếu ta lấy đường cong đặc tuyến cơ sở thì nhân 0.031 V/%RH với $\pm 5\%$ RH nhận được kết quả là ± 0.155 V. Có nghĩa là điện áp ra của thiết bị này là 0.8 V \pm 0.155 V hoặc trong phạm vi từ 0.645 V tới 0.955 V. Khi ở trong môi trường có độ RH là 0% thì điện áp ra của tất cả các cảm biến thuộc cùng loại sẽ nằm trong phạm vi này.

Tính thay thế lắp lẫn sẽ tăng lên cùng sự gia tăng độ RH bởi vì niêm phong cảm biến tích hợp RHIC đã được điều hưởng tinh tích cực chỉ ở 0%RH. Việc điều hưởng ở các trị số độ RH khác là không khả thi, không thực tế.

Tính thay thế lắp lẫn giúp ta hạ giá thành thiết kế bằng cách tránh phải hiệu chuẩn hệ của mình đối với mỗi cảm biến riêng lẻ. Cảm biến tích hợp RHIC vẫn giữ được các tính năng thay thế và những ưu điểm về độ chính xác ở độ ẩm cao hơn.

Độ chính xác dựa trên cơ sở đường cong hiệu chuẩn đặc tính đối với bất kỳ cảm biến riêng lẻ nào và bằng $\pm 2\%$ RH. Ví dụ: nếu một cảm biến đặc trưng có điện áp ra là 0,850V ở 0%RH (giả thiết điện áp nguồn cung cấp là 5VDC), thì cảm biến này sẽ luôn luôn cho ra điện áp $\pm 0,062$ V hoặc trong phạm vi (0,788÷0,912)V. Độ chính xác sẽ bằng tính thay thế lắp lẫn $\pm 2\%$ nếu không hiệu chuẩn hệ cho mỗi cảm biến. Nếu hiệu chuẩn cho mỗi cảm biến tích hợp RHIC thì độ chính xác toàn phần có thể trong khoảng $\pm 1-2\%$ RH.

PHỤ LỤC 1 – CƠ SỞ LÝ THUYẾT PHẦN TỬ CẢM BIẾN THAM SỐ MẠCH.

P1.1 – Khái niệm tham số mạch: trở kháng – điện trở – điện kháng.

Trong kỹ thuật điện–điện tử khái niệm tham số mạch bao gồm “trở kháng” (gồm điện trở và điện kháng) và “điện dẫn”. Trên thực tế, các tham số mạch thường phân biệt ở đây là những tham số thụ động, ngoài điện trở thuần Ohm (hay còn gọi điện trở tác dụng) còn có cảm kháng (của cuộn cảm) và dung kháng (của tụ điện), làm thành trở kháng toàn phần của mạch, biểu thị một trở kháng phức.

Điện trở phức là mô tả toán học trở kháng theo đại lượng phức (đại lượng vector, có độ lớn và có hướng), bằng tỷ số giữa biên độ phức của hiệu điện thế dạng sin với biên độ phức của dòng điện dạng sin. Vector trở kháng phức ký hiệu là \bar{Z} . Modul của \bar{Z} gọi là điện trở toàn phần $|\bar{Z}| = Z$. Nếu argument của điện trở phức ký hiệu là φ thì:

$$\bar{Z} = Ze^{j\varphi} = Z \cos \varphi + jZ \sin \varphi = R + jX. \quad (\text{P1.1})$$

Phần thực của điện trở phức \bar{Z} là R – điện trở tác dụng của mạch, phần ảo X là điện trở phản kháng – điện kháng.

Điện kháng là phần trở kháng đặc biệt của mạch điện đối với riêng điện xoay chiều, khác với điện trở thuần là điện trở của mạch điện đối với cả điện một chiều lẫn xoay chiều. Điện kháng do hai yếu tố là độ tự cảm và điện dung gây ra. Điện kháng do độ tự cảm gây ra gọi là cảm kháng và điện kháng do điện dung gây ra gọi là dung kháng. Điện kháng không gây ra sự toả nhiệt Joule–Lenz như điện trở thuần, nhưng nó có tác dụng phân bố lại năng lượng của mạch điện theo thời gian.

Điện trở là đại lượng đặc trưng cho sự ngăn cản của vật liệu đối với dòng điện chạy qua nó. Điện trở phụ thuộc vào bản chất, kích thước hình học và nhiệt độ của vật dẫn.

Điện kháng X là phần ảo của trở kháng phức:

$$\bar{Z} = R + jX. \quad (\text{P1.2})$$

Điện kháng X của đoạn mạch có R , L , C mắc nối tiếp bằng:

$$X = X_L - X_C, \quad (\text{P1.3})$$

trong đó: $X_L = \omega L$ là cảm kháng và $X_C = 1/\omega C$ là dung kháng.

Trị số X xác định độ lệch pha giữa dòng và thế:

$$\varphi = \arctan(X/R). \quad (\text{P1.4})$$

Khi $X > 0$ thì $\varphi > 0$, mạch có tính cảm kháng; khi $X < 0$ thì $\varphi < 0$, mạch có tính dung kháng.

Điện trở tác dụng R là tỷ số giữa công suất tác dụng tiêu thụ trong phần đoạn mạch và bình phương dòng hiệu dụng ở cửa vào phần đoạn mạch đó:

$$R = P/I^2. \quad (\text{P1.5})$$

Điện trở tác dụng có thể biểu diễn qua điện dẫn tác dụng G và điện dẫn toàn phần Y , bằng:

$$R = G/Y^2. \quad (\text{P1.6})$$

Điện trở tác dụng thường lớn hơn điện trở thuần vì hiệu ứng mặt ngoài, vì sự hao phí năng lượng do dòng điện xoáy trong trường điện-từ biến thiên và do các hiện tượng trễ. Do đó, khái niệm điện trở thuần và điện trở tác dụng sẽ càng khác biệt khi phần tử điện trở của mạch làm việc ở chế độ biến thiên xoay chiều, nhất là ở cao tần.

Điện trở thuần R là điện trở thuần Ohm – đại lượng vô hướng đặc trưng cho sự cản trở của đoạn mạch đối với dòng một chiều, bằng tỷ số giữa hiệu điện thế một chiều U với cường độ dòng điện I khi

trong phần đoạn mạch đó không đặt một thế điện động (hay thế phản điện). Điện trở thuần R được xác định theo định luật Ohm:

$$R = U/I. \quad (P1.7)$$

Điện trở R chỉ phụ thuộc vào bản chất vật dẫn, hình dạng và kích thước vật dẫn. Đối với dây dẫn đồng chất thì:

$$R = \rho l/S, \quad (P1.8)$$

trong đó: ρ là điện trở suất, l là chiều dài và S là tiết diện dây dẫn.

Trong thực tế ứng dụng, thiết kế và công nghệ chế tạo vẫn xuất hiện những mâu thuẫn liên quan quan niệm: lý thuyết – lý tưởng hoá, và thực tiễn – hiện thực hoá chúng. Ở đây chúng ta quan tâm đến những phần tử linh kiện mạch điều khiển tự động, dù chỉ ở mức độ sử dụng, khai thác những phần tử linh kiện chế sẵn hay thiết kế chế tạo hoặc thiết kế mạch ứng dụng chúng. Do đó, thiết nghĩ trước hết chúng ta nên khảo sát các tham số mạch điện trên cơ sở sơ đồ tương đương của chúng.

Một trở kháng phức \bar{Z} kết hợp thành phần tác dụng R và thành phần phản kháng X :

$$\bar{Z} = \text{Re}(\bar{Z}) + j \text{Im}(\bar{Z}) = R + jX = |\bar{Z}|e^{j\varphi_z}. \quad (P1.9)$$

Đối với điện trở thuần Ohm thì áp dụng định luật Ohm dưới dạng:

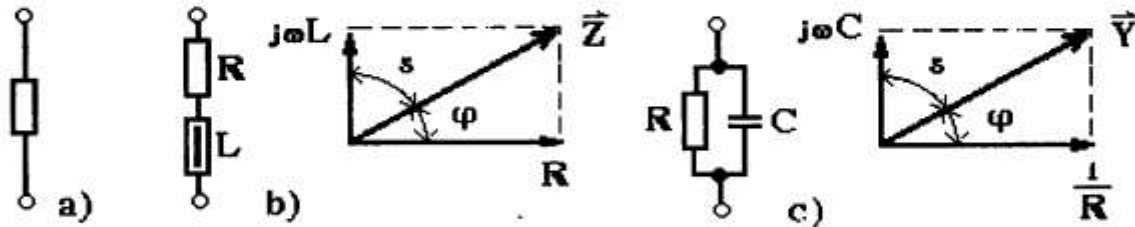
$$R = \frac{U(t)}{I(t)}, \quad (P1.10)$$

tức là dòng và áp trên điện trở ở mỗi thời điểm đều tỷ lệ tương quan với điện trở Ohm của nó.

P1.2 – Sơ đồ tương đương của các phần tử tham số mạch.

Điện trở thuần. Điện trở thuần Ohm R khác với trở kháng phức \bar{Z} là nó không chứa các thành phần điện kháng (dung kháng hoặc cảm kháng) mà trên thực tế đó là một khái niệm lý tưởng, không thể đạt

được hoàn toàn. Các phần tử linh kiện biến trở thực tế, bằng cách này hay cách khác, ít nhiều đều có chứa thành phần điện kháng. Ví như biến trở kim loại (hình P1.1a) chế xuất theo công nghệ dây cuốn – sẽ có thành phần cảm kháng (hình P1.1b), theo công nghệ màng (màng than, màng trở, màng điện dẫn ...) sẽ có thành phần dung kháng (hình P1.1c), thể hiện càng rõ khi làm việc ở điện xoay chiều hay tần số cao.



Hình P1.1 – Sơ đồ tương đương của một biến trở thực tế.

Đối với cuộn cảm và tụ điện, nếu bỏ qua được thành phần điện trở thuần Ohm thì:

- đối với điện dung C (tụ điện lý tưởng):

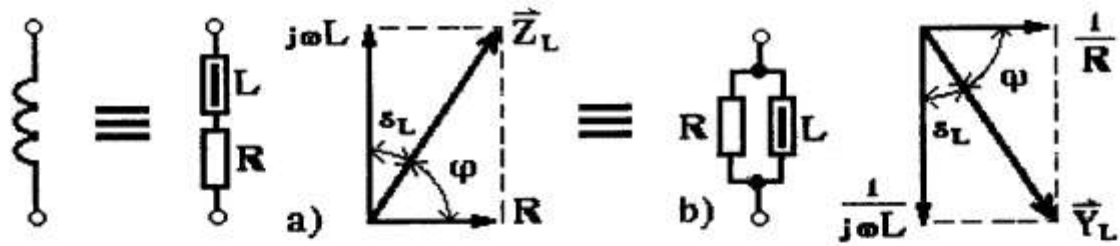
$$\bar{Z}_C = jX_C = \frac{1}{j\omega C} = -\frac{j}{\omega C}; \quad (\text{P1.11})$$

- đối với điện cảm L (cuộn cảm lý tưởng):

$$\bar{Z}_L = jX_L = j\omega L. \quad (\text{P1.12})$$

Linh kiện thực tế luôn luôn tồn tại tổn hao, ta sử dụng các sơ đồ tương đương cuộn cảm và tụ điện thực tế có tổn hao như sau:

Cuộn cảm có tổn hao. Hình P1.2 giới thiệu sơ đồ tương đương nối tiếp hay song song của một cuộn cảm có tổn hao, với biểu đồ vector trở kháng và điện dẫn tương ứng.



Hình P1.2 – Sơ đồ tương đương cuộn cảm có tổn hao với biểu đồ trở kháng và điện dẫn tương ứng: a). Sơ đồ nối tiếp; b). Sơ đồ song song.

Trở kháng \bar{Z}_L và điện dẫn \bar{Y}_L của một cuộn cảm có tổn hao bằng:

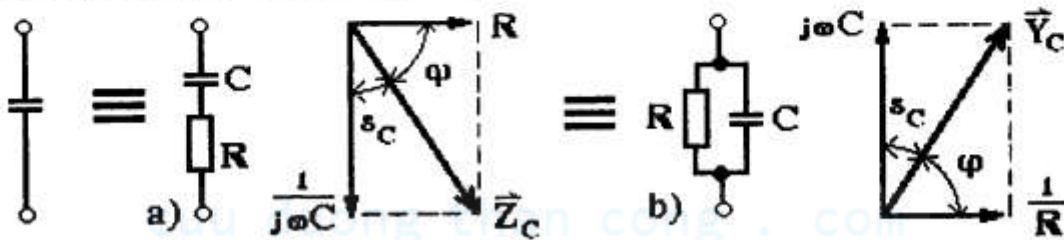
$$\bar{Z}_L = R + j\omega L = 1/\bar{Y}_L = 1/\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L}\right). \quad (\text{P1.13})$$

Cũng có thể biểu diễn hệ số tổn hao $\tan \delta_L$ và hệ số phẩm chất Q_L của cuộn cảm bằng các phần tử của sơ đồ tương đương:

$$\tan \delta_L = \frac{1}{Q_L} = \frac{R_s}{\omega L_p} = \frac{\omega L_p}{R_p}; \quad (\text{P1.14})$$

ở đây các ký hiệu s và p biểu thị phần tử thuộc sơ đồ tương đương nối tiếp *series* hay song song *parallel*.

Tụ điện có tổn hao. Hình P1.3 giới thiệu sơ đồ tương đương nối tiếp hay song song đối với một tụ điện có tổn hao, với biểu đồ vector trở kháng và điện dẫn tương ứng.



Hình P1.3 – Sơ đồ tương đương tụ điện có tổn hao với biểu đồ trở kháng và điện dẫn tương ứng: a). Sơ đồ nối tiếp; b). Sơ đồ song song.

Trở kháng \bar{Z}_C và điện dẫn \bar{Y}_C của tụ điện có tổn hao bằng:

$$\bar{Z}_C = R - \frac{j}{\omega C} = 1/\bar{Y}_C = 1/\left(\frac{1}{R} + j\omega C\right). \quad (P1.15)$$

Có thể biểu diễn hệ số tổn hao $\tan \delta_C$ và hệ số phẩm chất Q_C của tụ điện bằng các phần tử trên sơ đồ tương đương:

$$\tan \delta_C = \frac{1}{Q_C} = \omega R_S C_S = 1/\omega C_P R_P. \quad (P1.16)$$

P1.3 – Các phần tử cảm biến tham số.

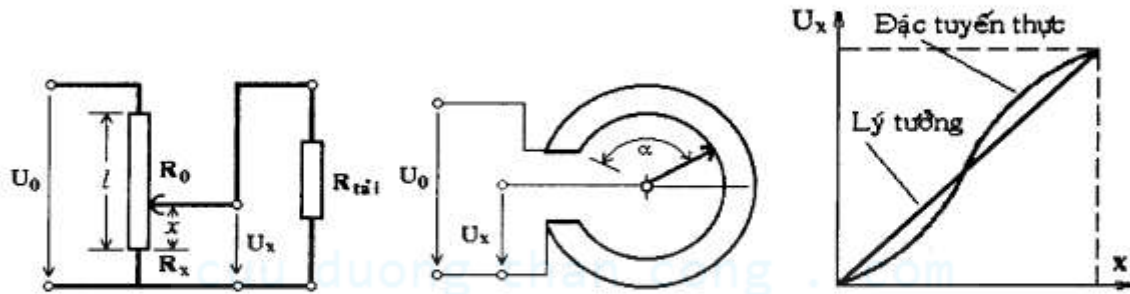
P1.3.1 – Phần tử biến trở *Resistance Transducer*.

Các phần tử biến trở thường được chế xuất dưới dạng chiết áp *Potentiometer*. Trị số điện trở thuần Ohm của biến trở là:

$$R = \rho \frac{l}{A}, \quad [\Omega]; \quad (P1.17)$$

ở đây: ρ - điện trở suất vật liệu điện trở, $[\Omega \frac{mm^2}{m}]$; l - chiều dài dây cuốn điện trở; A - tiết diện dây trở, $[mm^2]$.

Về cấu trúc, các chiết áp có tiếp điểm con trượt: chuyển động thẳng *linear-* hay vòng (*arc-shaped-*) (hình P1.4), một vòng hay nhiều vòng. Kiểu thông dụng là có bộ phận truyền động trực quay con trượt (quay tay hay dùng dùng máy điện).



Hình P1.4 – Cảm biến điện trở:

- Chiết áp tuyến tính;
- Chiết áp vòng (amular).

Hình P1.5 – Sai lệch tuyến tính của

chiết áp do dung sai chế tạo.

Biến trở được thực hiện bằng điện trở dây cuốn, hoặc màng điện trở *film resistor* bằng một lớp carbon hay chất dẻo dẫn điện. Mỗi chiết áp thực tế không tránh khỏi có những thành phần điện cảm và điện dung. Tuy nhiên, có thể bỏ qua những thành phần đó, nếu dùng điện một chiều hay xoay chiều tần số thấp. Hiện nay đang phát triển loại biến trở từ – *magnetic field resistors*, làm việc không tiếp xúc và do đó không bị ảnh hưởng ma sát con trượt.

Tỷ lệ giữa độ dài chuyển dịch của con trượt trên biến trở x và độ lớn điện áp U_x rơi trên phần biến trở ấy tương tự như trong sơ đồ một bộ phân áp. Quan hệ tỷ lệ:

$$R_N = \frac{\rho l_{\max}}{A}; \quad (\text{P1.18})$$

$$I = \frac{U_0}{R_N}; \quad (\text{P1.19})$$

$$U_x = R_x \cdot I = \frac{\rho}{A} \cdot \frac{U_0}{R_N} \cdot l_x = k l_x = f(l_x); \quad (\text{P1.20})$$

ở đây: l_{\max} , l_x – độ dài toàn phần và độ dài khoảng dịch chuyển x của con trượt biến trở; R_N và R_x – điện trở toàn phần (danh định) và điện trở phần chiết áp của biến trở; ρ và A – điện trở suất của vật liệu dây dẫn và tiết diện dây; U_0 , I – điện áp và dòng điện trên phần tử; U_x – điện áp phần chiết áp con trượt – cũng chính là điện áp ra của phần tử; k – hệ số tỷ lệ.

Các thông số đặc trưng của biến trở.

- Trị số điện trở (danh định): Trị số điện trở điển hình là $100[\Omega]$ và $100[k\Omega]$.
- Mức tổn hao công suất cho phép: Tổn hao sẽ tăng tùy theo mức tăng điện áp nếu điện trở nhỏ. Điện áp lớn nhất $U_{G\max}$ có thể cung cấp cho chiết áp được tính bằng:

$$U_{0\max} = \sqrt{P_{th} R} ; [V] \quad (P1.21)$$

ở đây: P_{th} – công suất tổn hao cho phép của chiết áp, [W]; R – trị số điện trở, [Ω].

- Dung sai cho phép: Dung sai là sai số lớn nhất có thể cho phép. Dung sai của chiết áp là sai lệch giữa trị số thực tế và trị số danh định, tính bằng [%] trị danh định, tức là sai số tương đối của biến trở chiết áp. Nó nằm trong phạm vi $\pm (1 \div 10)[\%]$. Trị số điển hình là trong khoảng $\pm 3[\%]$ và $\pm 5[\%]$.
- Độ tuyến tính: Độ tuyến tính là đặc tính đặc biệt quan trọng đối với các phần tử tự động. Thậm chí trong điều kiện không tải, ví dụ khi điện áp đầu ra được xác định theo phương pháp bù (cân bằng), coi như không có sụt áp trên đầu đo, thì thay đổi điện áp đầu ra cũng vẫn không thật tuyến tính với đường trượt hay góc quay của con trượt. Độ sai lệch điện trở thực tế so với đường cong lý tưởng thường là trong khoảng 0,05[%] và 1[%] (hình P1.5). Chiết áp dây cuốn có độ tuyến tính tốt hơn cả, nhưng có nhược điểm là giá trị biến trở thay đổi đúng bằng độ lớn vòng dây, từ vòng này sang vòng khác. Nói cách khác, độ phân giải bằng độ lớn điện trở một vòng dây. Trong thực tế, có thể chế tạo chiết áp với 25 vòng trên 1 [mm], tức là độ phân giải giới hạn trong khoảng 40 [μm].
- Độ phân giải: Độ phân giải của chiết áp vòng đơn đường kính 25 [mm] là khoảng 0,2°. Về lý thuyết, các chiết áp kiểu màng carbon hay màng dẻo điện dẫn có độ phân giải vô định. Trên thực tế, có thể đạt 0,01 [mm] khi đo dịch chuyển thẳng và 0,01° khi đo di góc. Tuy nhiên độ tuyến tính của những cảm biến này kém hơn các chiết áp dây cuốn.

P1.3.2 – Phần tử biến dung *Capacitance Transducer*.

Điện dung của một tụ điện phẳng tỷ lệ với diện tích bề mặt bản cực A, với khoảng cách bản cực d và với chất điện môi:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}; [F] \quad (P1.22)$$

ở đây: ϵ_0 - hằng số điện môi của không khí, $\epsilon_0 = 8,854.10^{-12} [F/m]$; ϵ_r - hằng số điện môi tương đối của vật liệu chất điện môi so với không khí; đối với điện môi là khoảng không (không khí) thì $\epsilon_r = 1$.

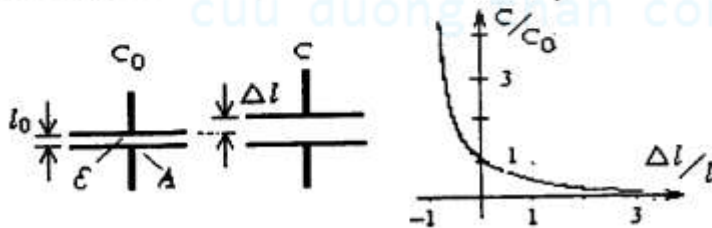
Do đó, điện dung là hàm của vị trí tương đối trong không gian và chất điện môi sử dụng. Đối với cấu trúc đồng tâm chiều dài l (tụ điện hình trụ), biểu thức sẽ là:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{2\pi l}{\ln \frac{r_a}{r_b}}; \quad (P1.23)$$

ở đây: r_a - bán kính trụ ngoài; r_b - bán kính trụ trong.

Cảm biến điện dung tạo nên một điện trường, còn cảm biến điện cảm tạo nên một từ trường. Nếu đưa một vật thể dẫn điện lại gần điện trường này, thì vật tác động như một bản cực và làm thay đổi phân bố điện trường. Sự thay đổi điện trường sẽ được phần tử cảm biến thu nhận và lượng giá - cho nên ở đây gọi chung là phần tử biến dung.

Phần tử biến dung gồm hai bản cực dẫn điện cách ly nhau nhưng có thể chuyển dịch so với nhau. Hai bản cực đặt song song, nên có thể tính điện dung của phần tử biến dung theo biểu thức (P1.22). Mối quan hệ rõ ràng giữa các đại lượng kích thước và điện dung tạo cơ sở chế xuất phần tử biến dung có khả năng lượng giá tín hiệu đo theo khoảng cách (hình P1.6).



Hình P1.6 - Nguyên lý phần tử biến dung đo khoảng cách.

Ở trạng thái ban đầu thì:

$$C_0 = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{l_0}. \quad (\text{P1.24})$$

Khi tăng khoảng cách giữa hai điện cực ($l_1 = l_0 + \Delta l$) thì:

$$C_1 = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{l_1}. \quad (\text{P1.25})$$

Biểu thức cơ sở của phần tử biến dung đo khoảng cách sẽ là:

$$\frac{C_1}{C_0} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta l}{l_0}}. \quad (\text{P1.26})$$

Đối với những chuyển dịch nhỏ Δl so với khoảng cách l_0 thì tỷ số biến động khoảng cách có thể coi là khá nhỏ ($\frac{\Delta l}{l_0} \ll 1$) và như vậy:

$$\frac{C_1}{C_0} = 1 - \frac{\Delta l}{l_0}. \quad (\text{P1.27})$$

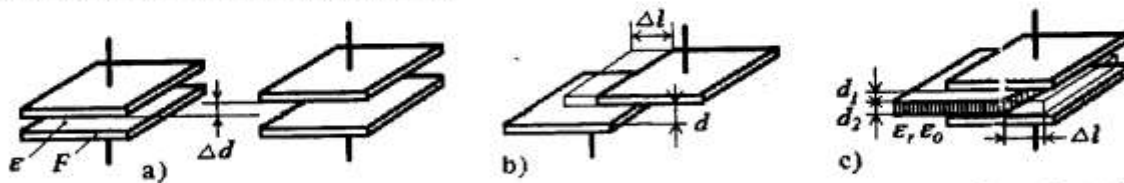
Đặc tuyến phần tử cũng có thể coi gần đúng là tuyến tính trong một phạm vi nhất định.

Phần tử biến dung có đặc điểm:

- Độ tuyến tính cao (hơn 0,01%);
- Có khả năng bọc chắn chống ảnh hưởng điện trường nhiễu;
- Nhạy với nhiễu từ trường;
- Chuyển đổi trực tiếp thành đại lượng điện.

Trong kỹ thuật tự động sử dụng rộng rãi mạch biến dung đo tiếp cận, phản ứng nhanh nhạy với đại lượng khoảng cách chuyển dịch, thì giá trị điện dung theo trị tuyệt đối không phải chính yếu, cái chính lại là sự biến động, thay đổi của nó.

Các phần tử cảm biến điện dung ứng dụng sự thay đổi điện dung theo biến động của một trong những đại lượng ở biểu thức (P1.22). Hình P1.7 trình bày sơ đồ nguyên lý các phương án biến dung đó. Hình P1.7a – phần tử biến dung do thay đổi khoảng cách giữa các bản cực một lượng bằng Δd ; hình P1.7b – do thay đổi diện tích đối ứng của các bản cực (bởi chuyển dịch Δl); hình P1.7c – do thay đổi tính chất điện môi (bởi tương tác điện môi không gian ϵ_r và ϵ_0 giữa các bản cực với xê dịch Δl).



Hình P1.7 – Nguyên lý cấu trúc cơ bản của các phần tử biến dung.

P1.3.3 – Phần tử biến cảm *Inductance Transducer*.

Điện cảm của cuộn dây được xác định bằng:

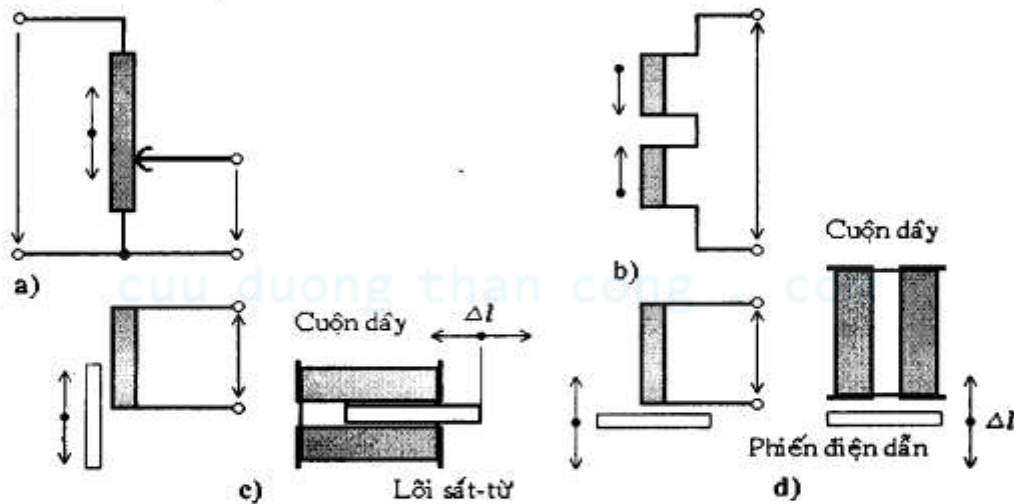
$$L = \frac{N^2 \mu_0 \mu_r A}{l}; \quad (\text{P1.28})$$

ở đây: N – số vòng dây; μ_0 – độ từ thẩm của khoảng không, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} [H/m]$; μ_r – độ từ thẩm tương đối; A – diện tích và l – độ dài của cuộn dây.

Cũng như đối với các phần tử cảm biến điện dung, nguyên lý chung đối với các phần tử cảm biến điện cảm là làm thay đổi một trong những đại lượng xác định điện cảm của cuộn cảm (xem biểu thức (P1.28), có thể biến thiên các thành phần N , μ_r , A và l để dùng làm biến cảm. Trên cơ sở đó có thể có những phương án hiện thực hoá phần tử biến cảm như trong hình (P1.8).

Có thể biến thiên số vòng dây N bằng cách dùng kết cấu con trượt (hình P1.8a). Tuy nhiên, khó có thể làm thay đổi kích thước hình

học của từng vòng dây riêng lẻ. Cách khác, nếu chia cuộn dây thành hai nửa và làm thay đổi khoảng không giữa chúng (hình P1.8b), thì sự ghép từ tính sẽ thay đổi và làm thay đổi điện cảm toàn phần. Đối với cuộn cảm có lõi sắt thì sự dịch chuyển của lõi sắt-từ trong lòng cuộn dây làm thay đổi độ từ thẩm μ_r (kiểu phần ứng dọc, hình P1.8c – nguyên lý và kết cấu). Kiểu khác – kiểu phần ứng ngang, thì một bản cực điện dẫn được đưa lại gần cuộn dây, hoặc ở thân bọc điện dẫn đặt trên cuộn dây, khi đó trong phần điện dẫn sẽ cảm ứng dòng xoáy Foucault. Điện trường tạo bởi dòng Foucault ấy tương tác với từ trường cuộn dây làm thay đổi điện cảm (hình P1.8d – nguyên lý và kết cấu).



Hình P1.8 – Nguyên lý biến cảm L theo phương án biến thiên:

- a). số vòng dây N ; b). bố trí hình học;
 c). độ từ thẩm (lõi sắt từ – kiểu phần ứng dọc);
 d). tổn hao dòng xoáy (phiến điện dẫn – kiểu phần ứng ngang).

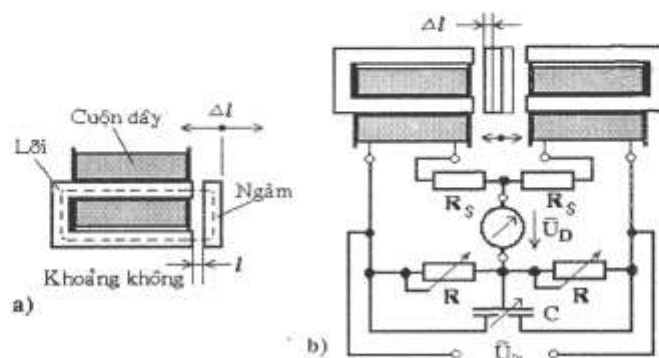
Như vậy, phần tử cảm biến điện cảm nói chung có hai dạng kết cấu cơ bản:

- Cuộn cảm không lõi sắt, và:
- Cuộn cảm lõi sắt-từ.

Về nguyên lý thì kết cấu biến cảm có lõi sắt-từ làm việc chủ yếu trên cơ sở ghép từ tính, đó là nguyên lý biến áp, với hệ số ghép như là hệ số biến áp. Do đó dạng kết cấu có lõi sắt có hai kiểu cơ bản:

- Kiểu phần ứng dọc *longitudinal armature* , và:
- Kiểu phần ứng ngang *transverse armature*.

Ở đây, cũng như trong kỹ thuật điện-từ, bộ phận động gọi là phần ứng.

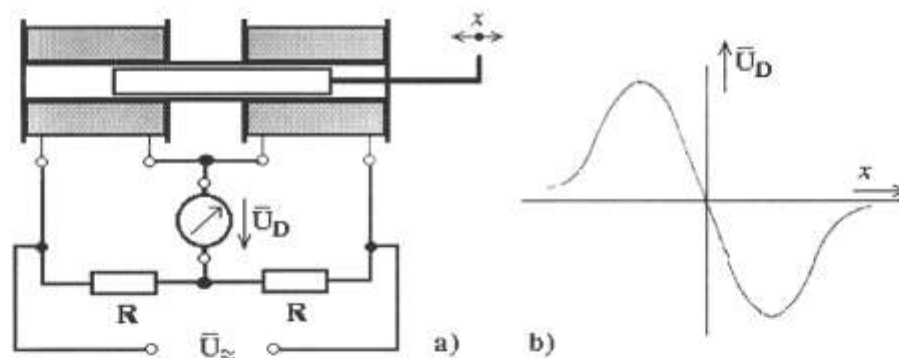


Hình P1.9 - Phần tử biến cảm kiểu phần ứng ngang:

- a). kiểu ngâm; b). kiểu vi sai mắc vào mạch cầu.

Một dạng phần tử biến cảm kiểu phần ứng ngang được thực hiện bằng cách thay đổi độ từ thẩm của khoảng không trong lòng cuộn cảm bằng lõi sắt có ngâm (hình P1.9a). Hình P1.9b giới thiệu sơ đồ nguyên lý phần tử biến cảm vi sai với mạch cầu.

Dạng ứng dụng có lõi sắt-từ mềm di động trong lòng cuộn cảm dây cuốn là phần tử biến cảm phần ứng dọc (xem hình P1.8c) – một dạng phần tử biến cảm theo nguyên lý biến thế. Cấu trúc thông dụng nhất là cuộn chặn *iron-core choke* vi sai mắc mạch nửa cầu – phần tử biến cảm ghép hai cuộn dây có lõi sắt-từ di động kiểu vi sai (hình P1.10). Còn trên hình P1.11 là phương án ứng dụng nguyên lý biến áp vi sai.



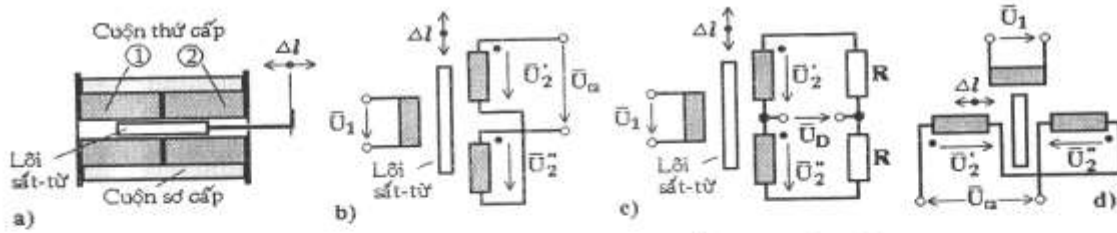
Hình P1.10 – Phần tử biến cảm vi sai:

a). Sơ đồ nối mạch cầu đo; b). Đặc tuyến.

Cuộn chặn vi sai hình P1.10a có kết cấu phần ứng dọc (lõi sắt-từ dọc). Nếu cuộn dây di động, từ trường ghép sẽ thay đổi và cùng với nó là thay đổi hồ cảm. Điện cảm của hai nhánh cầu biến đổi nghịch và điện áp đường chéo cầu U_D sẽ được hiển thị như là hàm của khoảng chuyển dịch x (đặc tuyến hình P1.10b). Khoảng đặc tuyến đi qua điểm 0 trên đồ thị có thể coi như tuyến tính. So với các phần tử cảm biến điện cảm đơn, về cơ bản, hai cuộn dây mắc vi sai kém nhạy hơn đối với tạp nhiễu *strays* từ trường, đối với biến động nhiệt độ và biến động về biên độ hoặc tần số nguồn cung cấp.

Các biến áp vi sai thậm chí còn được sử dụng phổ biến hơn cuộn chặn (kiểu ngàm dịch chuyển dọc trục) mắc mạch kiểu vi sai (hình P1.10) hay cầu nửa với cảm biến điện cảm (hình P1.9). Hình P1.11 giới thiệu một kiểu biến áp vi sai có một cuộn sơ cấp và hai cuộn thứ cấp được lắp lồng vào nhau (đồng trục trên cùng một khung dây cuộn), trong lòng có lõi sắt-từ mềm di động.

cuu duong than cong . com



Hình P1.11 – Nguyên lý biến áp vi sai:

a). Kết cấu; b). Kiểu lõi dọc;

c). Kiểu lõi dọc mắc mạch cầu đo; d). Kiểu lõi ngang.

Cuộn sơ cấp được cấp một điện áp xoay chiều. Khi lõi sắt-từ ở vị trí giữa (vị trí đối xứng) thì sự ghép từ tính (hệ số biến áp) giữa cuộn sơ và hai cuộn thứ là như nhau; và nếu như các thông số của hai cuộn thứ cấp là y như nhau thì điện áp cảm ứng ở hai cuộn thứ cũng sẽ bằng nhau. Nếu lõi sắt-từ bị dịch chuyển ra khỏi vị trí đối xứng thì điện áp ra của các cuộn thứ cấp sẽ khác nhau.

Hai cuộn thứ cấp trong phần tử biến cảm kiểu lõi dọc (hình P1.11b) mắc mạch ngược đầu với nhau, tạo thành điện áp vi sai đầu ra. Cũng có thể dùng sơ đồ mạch cầu (hình P1.11c), mắc hai cuộn thứ cấp vào hai nhánh mạch cầu.

Đối với sơ đồ hình P1.11b thì điện áp đầu ra của mạch \bar{U}_{ra} sẽ bằng:

$$\bar{U}_{ra} = K \cdot \bar{U}_1 \cdot \Delta l; \quad (P1.29)$$

ở đây: K – hằng số ghép (hệ số biến áp); \bar{U}_1 – điện áp cuộn sơ cấp (trị hiệu dụng); Δl – chuyển vị của lõi sắt-từ khỏi vị trí đối xứng.

Ở sơ đồ mạch cầu hình P1.11c, thì điện áp đầu ra (điện áp đường chéo cầu) sẽ bằng:

$$\bar{U}_{ra} = \frac{1}{2} K \cdot \bar{U}_1 \cdot \Delta l. \quad (P1.30)$$

Như vậy, nếu dịch chuyển lõi sắt-từ là như nhau ở cả hai sơ đồ, thì sơ đồ hình P1.11b sẽ cho điện áp đầu ra lớn hơn.

PHỤ LỤC 2

PHẦN TỬ CẢM BIẾN MÁY ĐIỆN THÔNG TIN.

P2.1 – Phần tử MÁY ĐIỆN PHÁT TỐC *Tacho-generator*.

P2.1.1 – Đại cương về máy phát tốc *Tacho-generator*.

Trong các ứng dụng kỹ thuật thường gặp chuyển động quay. Vấn đề là xác định số vòng quay, thường tính bằng số vòng quay trong một phút ([vòng/phút] hay [1/min]).

Một khả năng xác định số vòng quay là dùng máy điện không làm việc ở chế độ động cơ mà là chế độ máy phát *generator*-. Máy phát *tacho*- được dẫn động cơ học sẽ tạo ra điện áp tỷ lệ với số vòng quay của máy. Cũng như các máy điện động cơ, máy phát cũng có rất nhiều kiểu khác nhau. Để phân biệt các loại máy phát điện, người ta xếp dạng máy phát dùng đo số vòng quay vào loại *tachogenerator* – máy phát tốc *tacho*-.

Tuy nhiên, ngoài các máy phát tốc *tachogenerators* (dạng máy điện), còn có phần tử cảm biến số vòng quay kiểu gia lượng *incremental*-. Phần tử cảm biến số vòng quay dạng này tạo nên một chuỗi xung có tần số lặp lại tỷ lệ với số vòng quay. Chuỗi xung vuông được dùng làm đại lượng tỷ lệ với số vòng quay có ưu thế là chúng có thể được lượng giá trực tiếp trong các hệ kỹ thuật số *digital*. Trong các hệ đo lường điều khiển ngày nay ứng dụng chủ yếu là các hệ điều khiển số, cho nên kiểu phần tử tự động này rất thông dụng. Đối với các tín hiệu *analog* đầu ra thì phải chuyển đổi thành những chuỗi xung. Việc lượng giá số đo được thực hiện bằng cách lấy tích phân chuỗi xung này. Có những vi mạch tích hợp chuyên dụng để thực hiện nhiệm vụ đó. Chúng được ký hiệu là chuyển đổi f/u – chuyển đổi tần số-điện áp. Phần tử gia lượng *incremental* dùng đo số vòng quay có thể chế tạo với nhiều cảm biến đa dạng khác nhau. Chủ yếu là mở rộng khả năng

lựa chọn các đặc tính chuyên biệt, sao cho việc gia công hay cải biến ít nhất. Phần tử xung gia lượng cho phép xử lý mở rộng tiếp theo bằng mạch điện tử đáp ứng những yêu cầu cụ thể. Ngoài phương pháp lượng giá theo tần số bằng cách đếm xung trong một khoảng thời gian nhất định, ngày nay cũng dùng kiểu đo độ rộng xung. Phương pháp đó đặc biệt phù hợp cho những chuyển động quay tốc độ chậm. Các phần tử cảm biến gia lượng đo tốc độ quay đã được nêu trong chương 4 – phần tử cảm biến vật lý.

Phân loại. Các loại máy điện động cơ cũng có thể làm việc ở chế độ máy phát và khi đó tạo ra một điện áp phụ thuộc vào chuyển động quay. Điện áp luôn luôn có quan hệ chặt chẽ với số vòng quay và được dùng làm số đo số vòng quay. Nhưng ở đây, để có thể nhận được quan hệ giữa điện áp đo và số vòng quay càng tuyến tính càng tốt, người ta đặt cho máy phát những yêu cầu cao, sao cho không cần máy phát phải là nguồn dòng về mặt năng lượng (chỉ phát tín hiệu). Cho nên các máy phát tốc tachogenerators được chế xuất với cấu trúc đặc biệt như vậy – một dạng máy điện đặc biệt, công suất nhỏ, làm việc ở chế độ máy phát (tín hiệu), thực hiện chức năng biến đổi chuyển động quay của trục dẫn động thành tín hiệu điện áp ra tỷ lệ.

Phân biệt các dạng máy phát tốc tachogenerators sau:

- Máy phát tốc xoay chiều:
 - Máy phát tốc không đồng bộ:
 - xoay chiều ba pha;
 - xoay chiều (một pha)
 - Máy phát tốc đồng bộ – xoay chiều (một pha) có chỉnh lưu, rotor cực lõi nam châm vĩnh cửu.
- Máy phát tốc một chiều
 - có cổ góp;
 - không chổi than.

Trong hệ đo lường điều khiển các máy phát tốc thực hiện những chức năng chủ yếu sau:

- Chỉ báo vận tốc quay;
- Liên hệ ngược vận tốc quay (trong các hệ theo dõi bám sát);
- Thực hiện phép vi phân (theo phương trình đặc tính ra của máy phát tốc);
- Thực hiện phép tích phân.

Phương trình đặc tính ra của máy phát tốc có dạng:

$$U_{ra} = k.n = K \cdot \frac{d\alpha}{dt} = f(\alpha); \quad (P2.1)$$

ở đây: U_{ra} – điện áp ra của máy phát tốc, [V]; n – vận tốc quay của trục dẫn động, tính bằng [vòng/phút] hay [1/min]; k, K – hệ số (khuyến đại).

Từ biểu thức (P2.1) ta thấy điện áp ra tỷ lệ với biến thiên tốc độ quay của trục quay. Do đó, một cách gần lược có thể coi máy phát tốc là một phần tử vi phân analog, đó là cơ sở ứng dụng máy phát tốc thực hiện phép vi phân hàm analog nêu trên.

Trong mối liên hệ ngược có thể thấy biến đổi tích phân:

$$\alpha = \frac{1}{K} \cdot \int U_{ra} \cdot dt. \quad (P2.2)$$

Đây cũng là cơ sở ứng dụng máy phát tốc trong mạch tích phân analog giải tích hàm toán tính.

Sự khác nhau là ở loại máy, điện áp cũng như công suất điện tạo ra khi tachogenerator được dẫn động. Trước hết, chúng ta lưu tâm đến một số đặc tính chung, chưa đi sâu vào từng dạng máy, để có khái quát vấn đề.

Dạng kết cấu. Người ta phân biệt các tachogenerator về mặt cấu trúc:

- dạng rotor rỗng (A4);

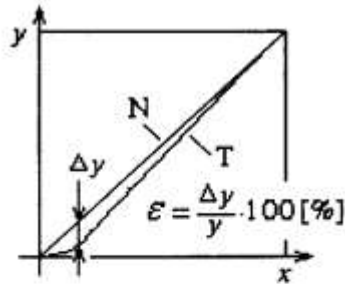
- dạng đế đứng (B3);
- có mặt bích phía trục dẫn động (B10); và:
- có bánh răng lắp ráp phía trục dẫn động (B14).

Ký hiệu trong ngoặc đơn (x) là ký hiệu dạng cấu trúc máy điện theo tiêu chuẩn DIN của CHLB Đức (DIN 40050). Dạng bảo vệ IP. cho thông tin thêm về sự bảo vệ tiếp xúc trực tiếp cũng như tiếp xúc với vật ngoài và với nước. Một dạng bảo vệ thông thường đối với các máy phát tốc là IP54. Ký hiệu này có nghĩa là tachgenerator được bảo vệ chống bụi gây hại và nước xối từ mọi hướng. Các điều kiện bảo vệ đặc biệt là khi máy phát tốc phải làm việc trong môi trường có nguy cơ cháy nổ.

Các thông số kỹ thuật và đặc điểm.

Số vòng quay danh định, điện áp danh định, dòng điện danh định. Số vòng quay danh định chủ yếu cho biết số vòng quay ứng với điểm cuối phạm vi làm việc. Điện áp đầu ra của máy phát tốc ứng với số vòng quay danh định và tải danh định – gọi là điện áp danh định. Dòng điện khi đó là dòng danh định. Dòng danh định tương ứng với tải vận hành và số vòng quay là 1000 [vòng/phút]. Tải vận hành được quy định bởi hãng chế xuất, cho trong tài liệu kỹ thuật kèm theo máy.

Đặc tuyến, sai số tuyến tính. Đồ thị biểu diễn các đại lượng đầu vào và đầu ra theo các hệ số lý thuyết – được gọi là đường đặc tuyến. Đồ thị biểu diễn điểm các giá trị đo – gọi là đặc tuyến thực nghiệm. Những sai lệch lớn giữa đường đặc tuyến danh định và đặc tuyến thực nghiệm được coi là sai số tuyến tính. Sai số tuyến tính được biểu diễn theo giá trị điện áp hay giá trị tỷ đối đối với một đại lượng dẫn xuất nào đó, ví dụ tính bằng % của điện áp cuối phạm vi đo (hình P2.1).



Hình P2.1 – Sai số tuyến tính của các máy phát tốc:

N – đặc tuyến danh định; T – đặc tuyến thực nghiệm;

x – trục số vòng quay; y – trục điện áp ra; ε [%] – sai số tuyến tính.

Bởi thông thường máy phát tốc làm việc trong một phạm vi số vòng quay hẹp, nên sai số tuyến tính có thể rất nhỏ, như vậy độ tuyến tính của đặc tính ra khá cao. Tuy nhiên đối với các chức năng khác nhau thì phải thỏa mãn yêu cầu ở những mức độ khác nhau. Ví như các máy phát tốc làm việc chức năng liên hệ ngược về vận tốc trong hệ theo dõi bám sát cần có hệ số khuếch đại lớn trong khi độ tuyến tính đặc tuyến không đóng vai trò quan trọng.

Số vòng quay cực đại. Số vòng quay cực đại được hãng chế xuất cung cấp số liệu. Trong thực tế, ngày nay không hiếm máy phát tốc có số vòng quay cực đại trên 10 nghìn [vòng/phút]. Ở các máy phát tốc ba pha có chỉnh lưu thì số vòng quay bị giới hạn bởi điện áp khoá của các diodes chỉnh lưu. Bằng cách lựa chọn linh kiện có thể mở rộng phạm vi số vòng quay, cho tới giới hạn cơ học.

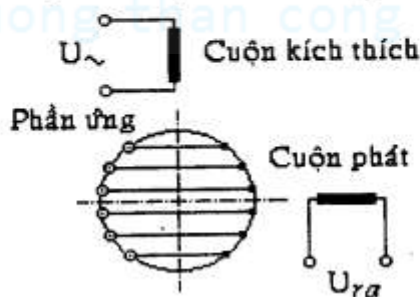
Đối với các máy phát tốc một chiều thì số vòng quay tối đa bị giới hạn bởi tính năng chuyển mạch cổ góp và phạm vi tốc độ tối đa của phần ứng.

Độ nhấp nhô sóng tín hiệu. Tín hiệu đầu ra một chiều của máy phát tốc xoay chiều ba pha có chỉnh lưu và của máy phát tốc một chiều có thành phần sóng hài nhấp nhô. Độ nhấp nhô trong tín hiệu phụ thuộc số vòng quay và phụ thuộc tải, nhưng cũng gây ảnh hưởng thông qua sai số cấu tạo và ghép nối cơ. Đối với các máy phát tốc ba pha thì

chúng phụ thuộc vào số pha và mạch chỉnh lưu. Đối với các máy phát một chiều có cổ góp thì phần ảnh hưởng chủ yếu là từ số vòng quay phần ứng và cấu trúc máy phát tốc. Nếu có thể chấp nhận một khoảng trễ trong thời gian đáp ứng thì có thể dùng mạch lọc để loại bỏ độ nhấp nhô dư trong tín hiệu.

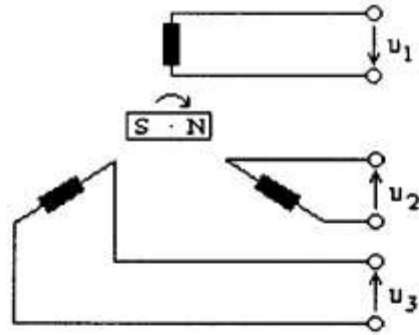
P2.1.2 – Máy phát tốc xoay chiều.

Máy phát tốc xoay chiều không đồng bộ. Máy phát tốc không đồng bộ có cấu trúc máy điện xoay chiều không đồng bộ, nhưng rotor rỗng không dẫn từ. Trên stator đặt hai cuộn dây (quấn rải, lệch pha nhau 90° điện): cuộn kích thích – đấu với nguồn điện xoay chiều; và cuộn phát đưa điện áp ra (hình P2.2). Vật liệu rotor được làm từ hợp kim không dẫn từ như constantan, manganin, ... để đảm bảo điện trở suất lớn và ít thay đổi theo nhiệt độ. Để đảm bảo từ trường đều trong khoảng hở không khí giữa rotor và stator máy phát, các máy phát tốc không đồng bộ thường được chế tạo với số cặp cực lớn hơn hai ($2p \geq 4$).



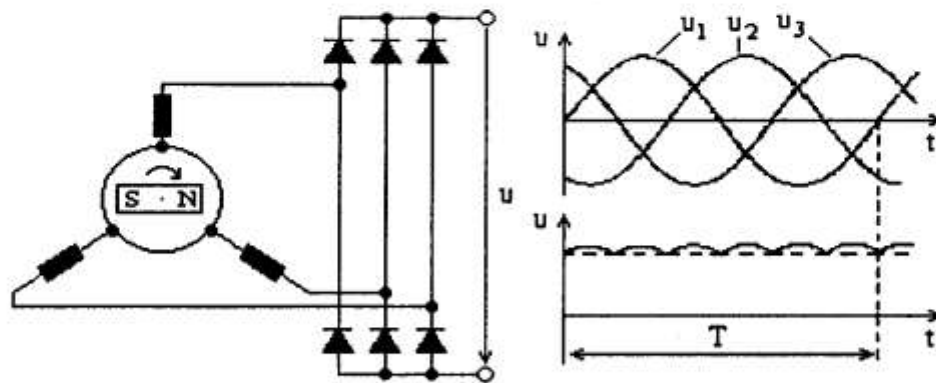
Hình P2.2 – Nguyên lý cấu trúc máy phát tốc không đồng bộ.

Máy phát tốc xoay chiều không đồng bộ ba pha. Máy phát tốc ba pha có stator làm từ thép tấm kỹ thuật điện và cuộn dây ba pha quấn bằng dây đồng. Bên trong stator có một nam châm vĩnh cửu quay, vật liệu làm từ hợp kim nhôm-nickel-cobalt. Khi nam châm quay thì trong cuộn dây stator cảm ứng một điện áp. Bởi cấu trúc ba pha của cuộn stator nên sẽ cảm ứng các điện áp lệch pha nhau 120° . Ba cuộn dây stator được đấu theo hình sao. Hình P2.3 giới thiệu nguyên lý cấu tạo.



Hình P2.3 – Nguyên lý cấu tạo máy phát tốc xoay chiều ba pha.

Để nhận được tín hiệu ra dạng analog một chiều thông thường, người ta mắc nối tiếp với máy phát tốc một cầu chỉnh lưu ba pha (hình P2.4). Máy phát tốc ba pha có số vòng quay cực đại tới cỡ 10 nghìn [vòng/phút]. Bởi ở phần ứng không đòi hỏi mạch đấu điện nào nên chúng cũng không cần có chổi than, trong vận hành không phải chăm sóc kỹ thuật gì nhiều. Và vì đã sử dụng nam châm vĩnh cửu để tạo từ trường cho máy nên cũng không cần phải có nguồn điện phụ nào thêm. Tín hiệu ra của máy phát tốc ba pha có chỉnh lưu phụ thuộc vào số vòng quay nhưng không phụ thuộc hướng quay.



Hình P2.4 – Nguyên lý cấu tạo máy phát tốc ba pha có chỉnh lưu.

Điện hình: Máy phát tốc xoay chiều ba pha TD3 (hãng Thalheim). Đặc tuyến – hình P2.5. Có mạch cầu chỉnh lưu bán dẫn ba pha mắc nối tiếp.

Điện áp không tải: một chiều 30 [V] ± 3 [%] (ở 1000 [vòng/phút]);

Sai số tuyến tính: 1 [%];

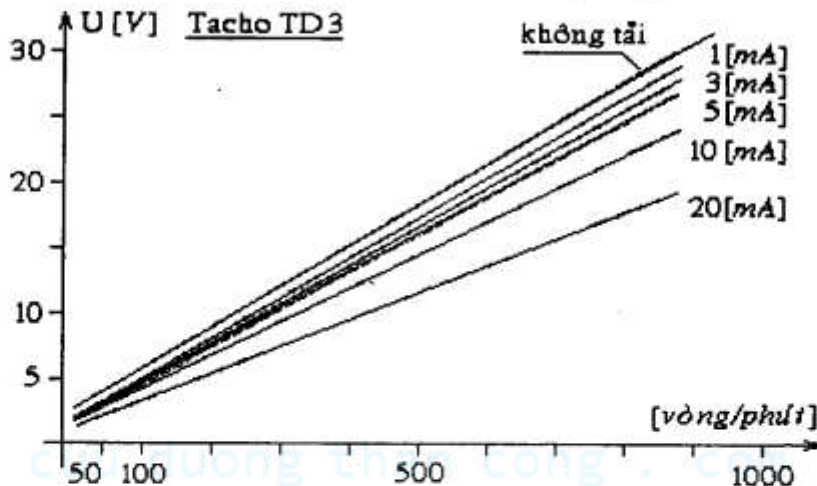
Sai số tuyến tính giảm thiểu: $\pm 0,1$ [%] khi: $(100 \leq n \text{ [vòng/phút]} \leq 1000)$;

Hướng quay: đảo được;

Cực tính: không phụ thuộc hướng quay;

Số vòng quay lớn nhất: 8000 [vòng/phút].

Loại kết cấu đặc biệt không có chỉnh lưu: điện áp ra là $3 \times 22,5$ [V].



Hình P2.5 – Đặc tuyến máy phát tốc ba pha TD3 (Thalheim):

Ở 1000 [vòng/phút] có điện áp danh định:

không tải: 30 [V] 3 [mA] – 27,5 [V] 10 [mA] – 23,9 [V]

1 [mA] – 28,7 [V] 5 [mA] – 26,5 [V] 20 [mA] – 19,1 [V].

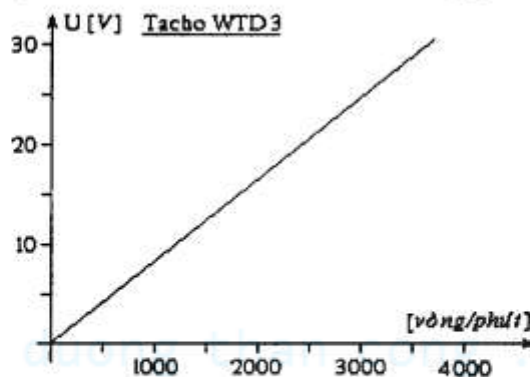
Loại máy phát tốc ba pha có chỉnh lưu TD3 như nêu trên không phù hợp với hướng quay thay đổi, khi ngoài số vòng quay cần phải xác định thêm hướng quay. Đối với những trường hợp ứng dụng này, hãng sản xuất có chế xuất loại tachogenerator có thêm bộ phận đảo cực tính, cho điện áp ra đổi dấu khi đổi hướng quay. Do phải đảo cực tính nên số vòng quay cực đại của loại này thấp hơn khá nhiều. Việc xác định hướng quay cần thời gian, thêm vào đó tín hiệu ra phụ thuộc hướng quay chỉ có thể thực hiện sau một khoảng thời gian ngắn, nhưng ít nhất cũng phải sau một phần tư vòng quay.

Trong đồ thị đặc tuyến của máy phát tốc có thể nhận thấy độ sai lệch tuyến tính, nhất là trong phạm vi vận hành ở tốc độ quay nhỏ. Có thể dùng mạch điện tử mắc nối tiếp với tacho- để bù độ phi tuyến này và như vậy đặc tuyến sẽ gần như đặc tuyến lý tưởng. Điều này có ý nghĩa đặc biệt quan trọng, khi cần phải xác định những số vòng quay nhỏ, ví như cỡ 1 [vòng/phút].

Máy phát tốc xoay chiều (một pha). Máy phát tốc xoay chiều một pha có cấu trúc như động cơ điện xoay chiều không đồng bộ một pha làm việc ở chế độ máy phát. Nó tạo tín hiệu ra là điện áp xoay chiều không phụ thuộc hướng quay.

Điển hình: Máy phát tốc xoay chiều WTD3 (hãng Thalheim).
Đặc tuyến – hình P2.6.

Điện áp không tải:	xoay chiều, dạng sin $8 [V] \pm 3 [\%]$ (ở 1000 [vòng/phút]);
Sai số tuyến tính:	$\pm 0,5 [\%]$;
Hướng quay:	đảo được;
Cực tính:	không phụ thuộc hướng quay;
Số vòng quay lớn nhất:	8000 [vòng/phút].



Hình P2.6 – Đặc tuyến máy phát tốc xoay chiều WTD3 (Thalheim).

Khi máy phát tốc xoay chiều không đồng bộ làm việc với nguồn kích thích thay vì là điện áp xoay chiều dùng nguồn kích thích một chiều thì ở chế độ hoạt động này có đặc điểm:

- Khi rotor máy phát tốc quay với vận tốc không đổi $n = \text{const.}$ thì trong cuộn phát không có sức điện động cảm ứng, tức là không có tín hiệu ra;
- Khi vận tốc quay của rotor biến thiên $n = \text{var.}$ thì sức điện động cảm ứng trong cuộn phát và điện áp ra của máy phát tốc sẽ tỷ lệ với vận tốc biến thiên đó, tức là tỷ lệ với gia tốc quay của trục dẫn động.

Nói cách khác, máy phát tốc xoay chiều không đồng bộ làm việc với nguồn kích thích một chiều là một phần tử cảm biến gia tốc quay.

Máy phát tốc đồng bộ. Một dạng cấu trúc máy phát tốc xoay chiều có cấu tạo như máy phát điện đồng bộ một pha, có rotor cực lõi làm bằng nam châm vĩnh cửu – gọi là máy phát tốc đồng bộ. Nhờ phần ứng là nam châm vĩnh cửu nên trong máy phát tốc đồng bộ không có tiếp xúc cổ góp, chổi than, làm tăng độ tin cậy của máy. Dạng máy phát tốc đồng bộ có những đặc điểm:

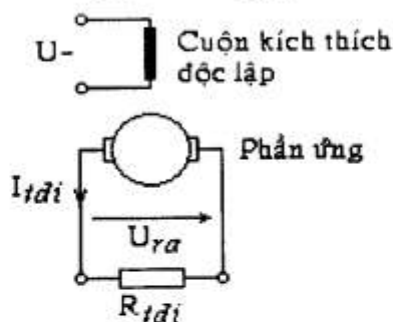
- Khi vận tốc quay của rotor thay đổi sẽ dẫn đến sự thay đổi không chỉ độ lớn mà cả tần số điện áp ra;
- Điều này có thể làm biến dạng đặc tuyến ra, bởi thay đổi tần số làm thay đổi điện kháng của máy và cả của tải;
- Có nguy cơ cộng hưởng tần số của hệ thống, gây ra những hiện tượng không mong đợi.

Bởi vậy máy phát tốc đồng bộ được ứng dụng chủ yếu trong mạch đo trực tiếp tốc độ quay: cuộn phát tín hiệu ra (cuộn stator) được mắc với máy đo (đo điện áp volt-kế) chỉ thị số vòng quay (thông qua bộ chỉnh lưu).

P2.1.3 – Máy phát tốc một chiều.

Máy phát tốc một chiều có cổ góp. Máy phát tốc một chiều có stator là một nam châm vĩnh cửu, hoặc lắp cuộn kích từ độc lập, tạo

nên từ trường kích thích (hình P2.7). Phần ứng là cuộn phát được ráp trên rotor, tiếp xúc điện thông qua cổ góp và chổi than.



Hình P2.7 – Sơ đồ nguyên lý cấu trúc máy phát tốc một chiều kích thích độc lập.

Khi phần ứng được dẫn động, từ trường sẽ cảm ứng trong cuộn dây phần ứng một điện áp. Nếu cuộn dây phần ứng có mắc tải thì sẽ có dòng điện xoay chiều chạy qua. Bộ phận tiếp điện (cổ góp và chổi than trượt trên nó) sẽ thực hiện đảo cực tính để dòng điện ra chỉ chạy theo một hướng. Các tacho- một chiều có đặc tuyến đối xứng qua điểm 0. Độ sai lệch so với đặc tuyến lý thuyết có thể sinh ra tổn hao lõi sắt và dòng điện xoáy, nguyên nhân vừa là do trở kháng tiếp xúc của chổi than, vừa là bởi phản ứng phần ứng. Chúng tác động càng mạnh ở số vòng quay lớn.

Trong thực tế, đặc tuyến ra của các máy phát tốc một chiều không hoàn toàn tuyến tính và không đi qua gốc tọa độ bởi mấy nguyên nhân:

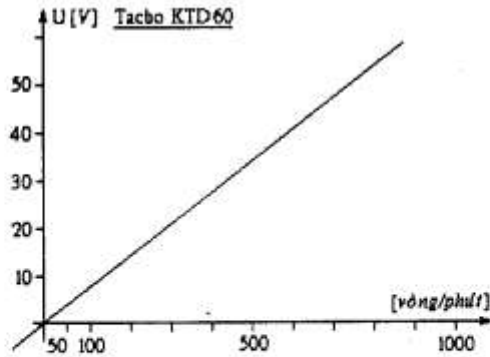
- Ảnh hưởng của điện trở tiếp xúc chổi than cổ góp gây ra trên đặc tuyến ra một vùng không nhạy $n = (0 \dots n_{\min})$. Điểm đặc trưng nữa đối với máy phát tốc một chiều có cổ góp là sai số đảo chiều thuận nghịch, xảy ra bởi chổi than trì hoãn một khoảng thời gian ngắn trên cổ góp khi đổi chiều quay. Để khắc phục, chổi điện thường được chế tạo nhiều tiếp điểm và bằng hỗn hợp đồng-than hay bạc-than.

- Ảnh hưởng của phản ứng phần ứng khi làm việc với tải nhỏ, dòng điện cuộn phát càng tăng khi số quay tăng, làm luống từ thông trong máy giảm. Phản ứng của phần ứng làm tăng sai số tuyến tính của đặc tuyến. Để giảm ảnh hưởng này có thể thiết kế sao cho máy phát tốc làm việc trên phần đặc tính từ hóa tuyến tính không bão hòa hay bão hòa mạnh.
- Đối với máy phát tốc một chiều kích thích độc lập: ảnh hưởng nhiệt độ tới điện trở dây cuộn kích thích (lớn hơn nhiều so với cuộn dây phần ứng). Biện pháp khắc phục chủ yếu là mắc thêm vào mạch kích thích điện trở phụ bù nhiệt.

Máy phát tốc một chiều cần phải bảo dưỡng định kỳ, chỉnh định vị trí thích ứng của cổ góp và chổi than. Trước hết, chú trọng chủ yếu đối với những dẫn động đảo chiều quay, như thao tác “bước tiến ăn dao” trong các máy công cụ.

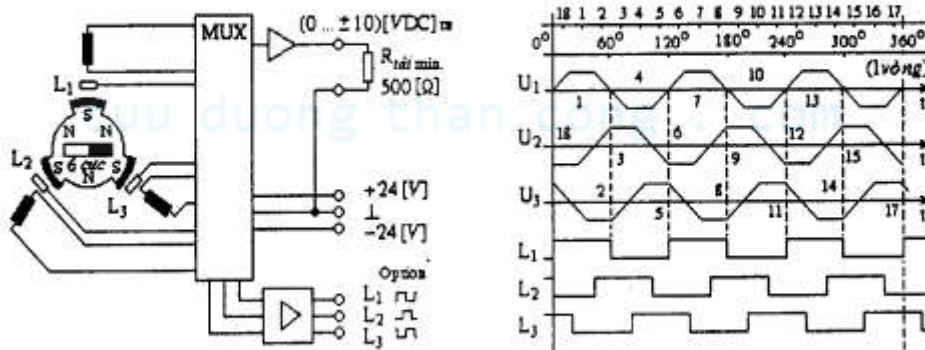
Điển hình: Máy phát tốc một chiều có chổi than cổ góp KTD 60 (hãng Thalheim). Đặc tuyến – hình P2.8.

Điện áp không tải:	một chiều $66 [V] \pm 5 [\%]$ (ở 1000 [vòng/phút]);
Điện áp danh định:	60 [V];
Dòng danh định:	67 [mA] khi: $(800 \leq n [vòng/phút] \leq 3000)$;
Sai số tuyến tính:	0,15 [%];
Hướng quay:	đảo được; Cực tính: phụ thuộc hướng quay;
Số vòng quay lớn nhất:	9000 [vòng/phút].



Hình P2.8 – Đặc tuyến máy phát tốc một chiều KTD 60 (Thalheim).

Máy phát tốc một chiều không chổi than. Trong những trường hợp dẫn động điện có đặc tính động học cao và hằng số vòng quay lớn trong một phạm vi đặt định rộng, ví như từ 0,5 đến 10 nghìn [vòng/phút], thì người ta sử dụng các máy phát tốc tacho- không có bộ phận tiếp xúc trượt như cổ góp chổi than.



Hình P2.9 – Sơ đồ nguyên lý và biểu đồ tín hiệu xung của máy phát tốc một chiều không chổi than.

Về mặt cấu trúc cơ khí, những tacho- này giống như hệ máy điện xoay chiều (ba pha) có rotor nhiều cặp cực và có cuộn dây (ba pha) ở stator. Nam châm vĩnh cửu nằm trong phần ứng rotor. Các điện áp cảm ứng có dạng biến thiên gần hình thang và lệch pha nhau. Bằng cách chuyển mạch thích ứng, phần thẳng của nửa chu kỳ dương được cộng thêm sườn lên của nửa chu kỳ âm. Việc chuyển mạch được thực hiện bằng các bộ cảm biến vị trí tác động nhanh (ví như phần tử cảm

biến Hall hay phần tử cảm biến phiến từ tính) và một bộ đổi nối multiplexer (hình P2.9).

Mạch điện tử mắc nối tiếp với tacho- sẽ cho ra tín hiệu tỷ lệ với số vòng quay. Hướng quay được xác định theo dấu của tín hiệu ra.

Điện hình: Máy phát tốc một chiều không chổi than BLTD 4 (hãng Thalheim). Đặc tuyến – hình P2.10.

Điện áp ra: $\pm (0 \dots 10,00) [V]$ (ở $20 [mA]$);

Phạm vi đo số vòng quay $(0,5 \dots 10\,000) [vòng/phút]$;

(Khi số vòng quay vượt ngưỡng:

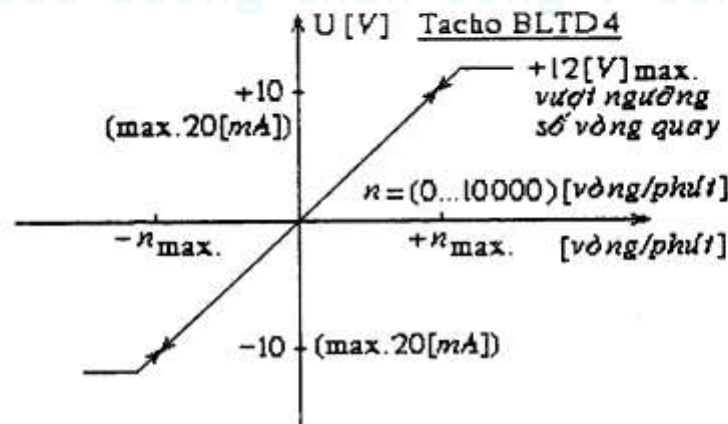
Điện áp ra max.: $\pm 12 [V]$;

Dòng ra max.: $30 [mA]$ -);

Hướng quay: đảo được;

Cực tính: phụ thuộc hướng quay;

Điện áp làm việc: $+(24 \dots 30) [VDC]$.



Hình P2.10 – Đặc tuyến máy phát tốc một chiều BLTD 4 (Thalheim).

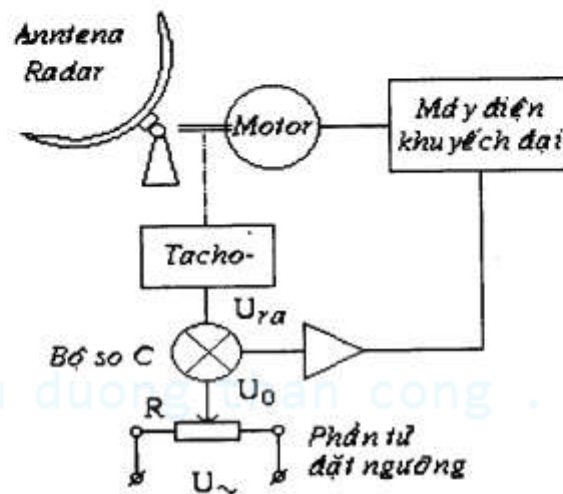
P2.1.4 – Ứng dụng.

Theo chức năng và tính năng hoạt động có thể phân các máy phát tốc theo ba nhóm ứng dụng:

1. Chỉ báo tốc độ, số vòng quay.

2. Cảm biến độ tăng giảm tín hiệu tỷ lệ tốc độ quay trong mối liên hệ ngược của hệ thống tự động điều chỉnh và là phần tử của hệ ổn định tốc độ. Ở đây thường dùng các máy phát tốc không đồng bộ hay một chiều cấp chính xác $(0,5 \div 1,0)$.

3. Phần tử tính toán tự động để giải các phép vi phân và tích phân hàm số analog. Ở đây dùng máy phát tốc độ chính xác cao: $(0,05 \div 0,2)$.



Hình P2.11 – Sơ đồ cấu trúc hệ truyền động antena radar.

Hình P2.11 giới thiệu sơ đồ cấu trúc hệ thống truyền động antena radar, trong đó máy phát tốc tacho- làm chức năng thứ hai – cảm biến liên hệ ngược về vận tốc quay của antena. Hệ ổn định tốc độ quay antena ở mức ngưỡng đặt U_0 trên phần tử biến trở chiết áp R , so sánh ở bộ so C với tín hiệu tốc độ quay hiện hữu của antena từ đầu ra máy phát tốc không đồng bộ *Tacho-*. Độ sai lệch được khuếch đại điện tử đưa tới máy điện khuếch đại để điều khiển động cơ chấp hành *Motor* quay antena với vận tốc ổn định.

P2.2 – Phần tử MÁY ĐIỆN cảm ứng selsyn.

P2.2.1 – Đại cương về máy điện cảm ứng selsyn.

Selsyn là máy điện cảm ứng công suất nhỏ trong hệ thống liên lạc đồng bộ truyền góc ứng dụng điều khiển, điều chỉnh và theo dõi, kiểm tra từ xa. Trong kỹ thuật thường có sự cần thiết đồng bộ hóa chuyển động quay hay góc quay của các trục cơ nằm ở xa nhau và không có liên hệ cơ khí với nhau. Vấn đề được giải quyết nhờ hệ thống liên lạc đồng bộ gồm máy phát được dẫn động bởi trục quay, một hay nhiều máy thu và đường dây truyền đạt giữa chúng.

Về phân loại hệ thống đồng bộ truyền góc có:

- Selsyn ba pha;
- Selsyn một pha;
- Selsyn vi sai.
- Máy từ-điện: magnesyn và selsyn động cơ.

Phân loại theo cấu trúc máy điện selsyn có:

- Selsyn có cực tiếp xúc – có cổ góp và chổi than tiếp điện;
- Selsyn không tiếp xúc – không có các tiếp điểm trượt.

Máy điện cảm ứng sel syn có hai chế độ hoạt động chức năng:

- Chế độ chỉ báo; và:
- Chế độ biến áp.

Về nguyên lý, các selsyn một pha đều có thể hoạt động theo cả hai chức năng trên. Hệ thống liên lạc đồng bộ với hoạt động chức năng chỉ báo được sử dụng ở những nơi mà trục nhận góc quay (selsyn thu) có tải nhỏ, tự tạo ra góc quay mà selsyn phát đã đặt. Góc quay của selsyn thu khi đó sẽ chỉ báo trạng thái góc quay tương ứng của bên phát.

Hệ thống liên lạc đồng bộ với hoạt động chức năng biến áp được sử dụng ở những nơi mà trục nhận góc quay (selsyn thu) có moment cản lớn, không tự tạo ra góc quay selsyn phát đặt, mà nhờ một động cơ chấp hành khác. Khi đó, điện áp ra của selsyn thu được đưa tới điều khiển động cơ chấp hành có nối trục quay với rotor selsyn thu, cho tới khi góc quay của selsyn thu cân bằng với góc quay của selsyn phát.

Các chế xuất selsyn công nghiệp làm việc ở tần số điện công nghiệp 50 [Hz] hoặc tần số cao (400, 500) [Hz]. Về phương diện ứng dụng kỹ thuật, có thể xem xét selsyn theo dạng phần tử cảm biến tốc độ quay để chỉ thị số vòng quay hay góc quay (chương 4).

P2.2.2 – Selsyn một pha.

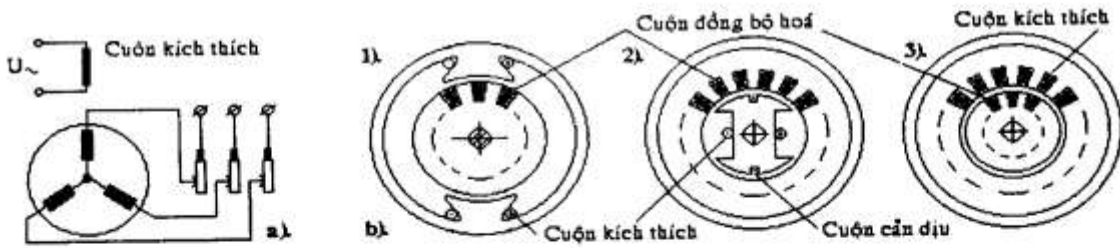
Cấu trúc và nguyên lý hoạt động. Về cấu trúc, selsyn ba pha giống như động cơ không đồng bộ với rotor dây quấn bình thường. Tuy nhiên chúng ít được sử dụng truyền góc quay do những nhược điểm như moment quay không bằng nhau khi rotor đổi chiều quay thuận/ngịch chiều từ trường, moment cân bằng động nhỏ, cần lưới điện cung cấp ba pha. Trong thực tế phổ biến hơn là hệ đồng bộ truyền góc sử dụng selsyn một pha.

Selsyn một pha có cấu trúc gần giống máy-điện đồng bộ kích từ. Lõi thép stator và rotor ghép bằng thép tấm kỹ thuật điện.

Selsyn tiếp xúc. Ở selsyn một pha loại có tiếp điểm trượt, cuộn dây kích thích (cuộn sơ cấp, một pha) được lắp trên stator (hoặc trên rotor) và cuộn dây đồng bộ hóa (cuộn thứ cấp, ba pha) lắp trên rotor (hoặc stator) (hình P2.12).

Như vậy, về cơ bản selsyn tiếp xúc có ba loại phân biệt theo cấu trúc:

- 1). Stator cực lõi, có lắp cuộn kích từ;
- 2). Rotor cực lõi, trên có lắp cuộn kích thích;
- 3). Cực ẩn.



Hình P2.12 – Selsyn một pha tiếp xúc:

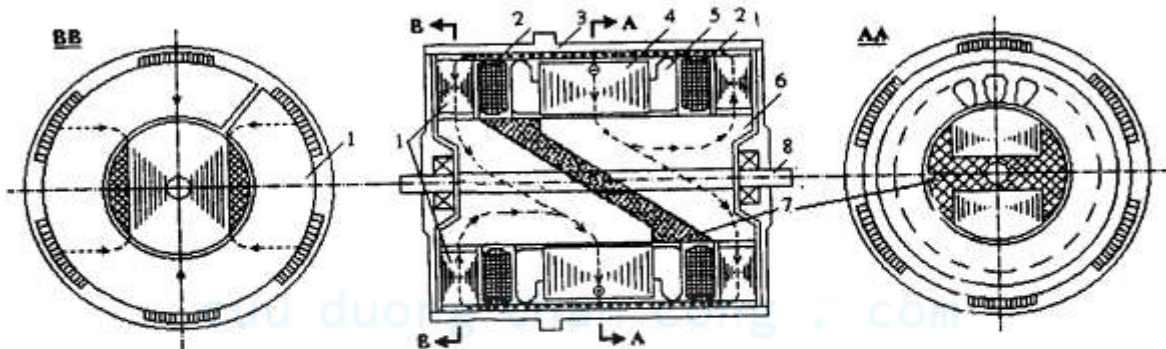
a). Sơ đồ nguyên lý (kết cấu stator cực lõi) ;

b). Kết cấu: 1). Stator cực lõi; 2). Rotor cực lõi; 3). Cực ấn.

Về nguyên lý thì hoạt động của selsyn không phụ thuộc vị trí lắp cuộn dây trên stator hay trên rotor. Tuy nhiên để giảm số vành trượt và chổi than, cuộn đồng bộ hóa ba pha thường được đặt trên stator. Cuộn đồng bộ hóa được quấn dây rải, cuộn kích từ được quấn dây tập trung thành bối dây.

Số cặp cực của selsyn được chọn $p = 1$ để đảm bảo khả năng tự đồng bộ trong một vòng quay.

Selsyn không tiếp xúc. Loại selsyn không có tiếp điểm trượt khác phục được nhược điểm về độ tin cậy do tiếp xúc cổ góp chổi than của loại selsyn tiếp xúc. Hình P2.13 giới thiệu cấu trúc selsyn không tiếp xúc.



Hình P2.13 – Nguyên lý cấu trúc selsyn không tiếp xúc.

Selsyn không có cực tiếp xúc là máy điện cảm ứng một pha với cuộn kích thích (một pha) và cuộn đồng bộ hóa ba pha đều nằm trên stator. Stator (4) của selsyn có lõi thép ghép từ thép tấm kỹ thuật điện,

có rãnh lấp cuộn đồng bộ hóa ba pha (5) quấn rải và dấu hình sao. Trên stator còn có cuộn kích thích (2) chia thành hai nửa cuộn đặt bên cạnh cuộn đồng bộ hóa.

Rotor (6) có hai cực từ được cách ly bởi khoảng không dẫn từ. Hai cực từ của rotor được ghép bằng thép tấm kỹ thuật điện theo chiều dọc trục và gắn lên trục (8) bằng chất keo silumin không từ tính (7).

Từ thông kích từ tạo bởi dòng xoay chiều trong cuộn kích thích khép mạch qua vỏ thép (3) stator và vòng xuyên chặn các cuộn kích thích (2), qua răng và gông stator (4) mà trở về hai đầu cực-từ (6) của rotor, cắt cuộn dây đồng bộ hóa (5) nên sinh ra trong đó sức điện động cảm ứng. Độ lớn của sđđ. này phụ thuộc vào vị trí tương đối giữa rotor và stator, vào từ trở giữa chúng.

Do cấu trúc đặc biệt của rotor gắn hai cực từ, luồng từ thông không khép mạch trực tiếp trên trục rotor bởi khoảng không dẫn từ (chất silumin keo dán hai cực từ), mà cắt cuộn dây thứ cấp đồng bộ hóa để có tín hiệu điện áp ra. Cấu trúc như vậy cho phép tạo từ trường quay mà không cần tiếp điểm trượt. Nhờ vậy, độ tin cậy và tính ổn định đặc tuyến của selsyn cao hơn đáng kể so với loại tiếp xúc.

Chế độ hoạt động chức năng của selsyn.

Chế độ chỉ báo. Hình P2.14 giới thiệu sơ đồ đơn giản của hệ thống đồng bộ truyền góc quay dùng selsyn làm việc ở chế độ chỉ báo. Hệ thống gồm hai selsyn hoàn toàn giống nhau (selsyn phát và selsyn thu) và đường truyền. Nguồn kích thích là lưới điện xoay chiều một pha. Điểm cuối các pha tương ứng của cuộn đồng bộ hoá được nối với nhau qua đường truyền. Dòng điện xoay chiều của các cuộn kích thích tạo ra từ thông đập mạch cắt các pha của cuộn đồng bộ hoá và sinh ra sđđ. cảm ứng. Độ lớn các sđđ. cảm ứng này phụ thuộc vào vị trí tương đối trong không gian giữa các pha và cuộn kích từ.

Nếu các pha cuộn đồng bộ hoá ở selsyn phát và ở selsyn thu có vị trí tương đối như nhau so với cuộn kích từ :

$$\alpha_F = \alpha_T; \quad (P2.3)$$

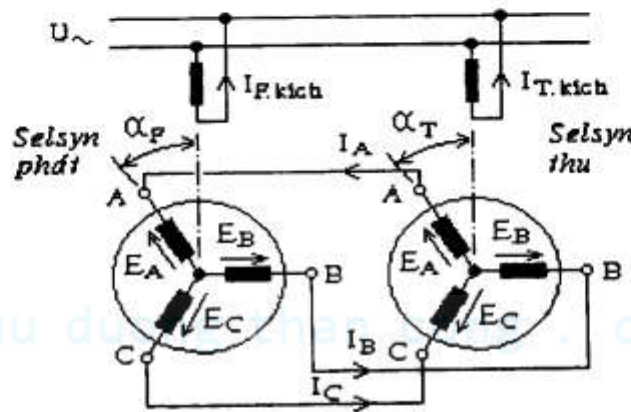
thì sđđ. cảm ứng trong đường truyền có độ lớn bằng nhau và ngược chiều nhau:

$$\vec{E}_{(A,B,C)F} = \vec{E}_{(A,B,C)T} \quad (P2.4)$$

Khi đó, không có dòng điện chạy qua đường truyền:

$$\vec{I}_{(A,B,C)} = 0. \quad (P2.5)$$

Moment điện-từ của selsyn bằng 0 và vị trí này của rotor selsyn là vị trí cân bằng.



Hình P2.14 – Sơ đồ nguyên lý hệ truyền tin đồng bộ bằng selsyn chế độ chỉ báo.

Nếu ở selsyn phát, rotor dịch chuyển khỏi góc độ cân bằng, khi đó:

$$\alpha_F \neq \alpha_T; \quad (P2.6)$$

và mất sự cân bằng sđđ. cảm ứng trong đường truyền:

$$\vec{E}_{(A,B,C)F} \neq \vec{E}_{(A,B,C)T} \quad (P2.7)$$

Khi đó, xuất hiện dòng điện trong các cuộn đồng bộ hoá chạy qua đường truyền:

$$\vec{I}_{(A,B,C)} \neq 0. \quad (P2.8)$$

Dòng điện này tương tác với từ trường kích thích mà sinh ra moment quay trong hai selsyn, bằng nhau về độ lớn và ngược chiều

nhau. Ở selsyn phát, moment quay hướng rotor trở lại vị trí cân bằng cũ; ở selsyn thu moment quay hướng tới vị trí cân bằng mới với bên phát. Độ lớn moment đồng bộ hoá trong selsyn thu tùy thuộc sai lệch góc θ :

$$\theta = \alpha_F - \alpha_T. \quad (\text{P2.9})$$

Sai số chỉ báo. Độ chính xác truyền góc từ selsyn phát tới selsyn thu phụ thuộc vào chất lượng hoạt động của cả hai bên. Độ chính xác của selsyn thu trong chế độ chỉ báo đặc trưng bởi sai số góc truyền $\Delta\theta$:

$$\Delta\theta = \frac{(\theta_{\max})_+ + (\theta_{\max})_-}{2}; \quad (\text{P2.10})$$

ở đây: $(\theta_{\max})_+$, $(\theta_{\max})_-$ – sai lệch góc θ lớn nhất theo chiều thuận hay chiều ngược.

Tức là sai số góc truyền là số trung bình (cộng) các trị sai lệch góc quay rotor máy thu khỏi vị trí cân bằng với selsyn phát sau một vòng quay thuận và một vòng quay ngược.

Độ chính xác của sensyn thu phụ thuộc các yếu tố:

- Suất moment đồng bộ hoá – giá trị moment đồng bộ hoá ứng với một độ góc sai lệch θ ở phần đầu đặc tuyến moment $M = f(\theta)$:

$$\Delta M = \left. \frac{dM}{d\theta} \right|_{\theta=0}. \quad (\text{P2.11})$$

Suất moment đồng bộ hoá càng lớn, đặc tuyến phần đầu ($\theta = 0^\circ$) càng dốc thì sai số càng nhỏ. Ở chế độ chức năng chỉ báo, selsyn thu thường làm việc với góc sai lệch θ nhỏ, nên để tăng độ chính xác cần chọn sensyn phát có công suất lớn.

- Moment cản trên trục của selsyn thu – chủ yếu là moment ma sát trong selsyn tiếp xúc trượt, có độ lớn khoảng (0,03 ... 1,0)

[N.cm]. Độ chính xác lý thuyết xác định hệ số phẩm chất K_Q của selsyn:

$$K_Q = \frac{\Delta M}{M_{ms}}; \quad (P2.12)$$

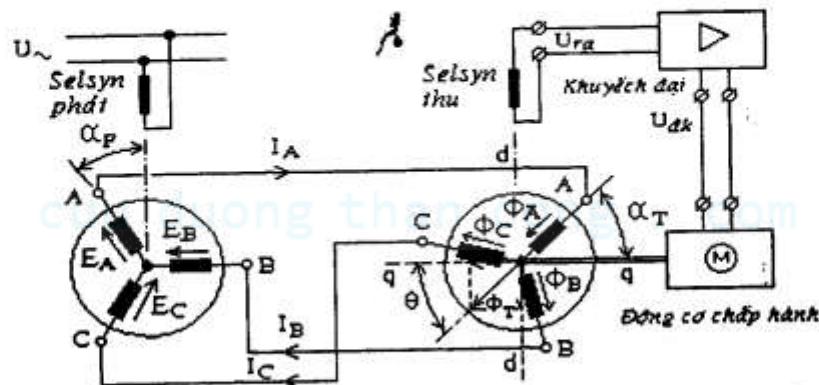
ở đây: ΔM – suất moment đồng bộ hoá; M_{ms} – moment ma sát trên trục của selsyn tiếp xúc. Giá trị hệ số phẩm chất K_Q càng lớn, độ chính xác lý thuyết càng cao.

- o Tính đối xứng của mạch từ và mạch điện – chủ yếu do công nghệ chế tạo.
- o Tính cân bằng của rotor selsyn thu – đặc trưng bởi thời gian ổn định rotor ở trạng thái dừng sau khi có góc sai lệch lớn nhất ($\pm 179^\circ$), thường cỡ (0,5 ... 1,5) [s].

Để giảm thời gian ổn định của selsyn thu người ta dùng bộ cản điện (như cuộn cản trong máy điện đồng bộ) hay bộ cản cơ (như lò xo, ma sát).

- o Độ chính xác của selsyn phát – chủ yếu phụ thuộc độ sai lệch giữa vị trí thực của rotor so với vị trí lý thuyết (có sđđ. cảm ứng trong các pha cuộn đồng bộ hoá bằng 0).

Chế độ biến áp của selsyn. Hình P2.15 giới thiệu sơ đồ hệ đồng bộ truyền tín hiệu góc quay dùng selsyn làm việc ở chế độ biến áp.



Hình P2.15 – Sơ đồ nguyên lý hệ truyền tín hiệu đồng bộ bằng selsyn ở chế độ biến áp.

Hệ đồng bộ truyền tín hiệu góc quay tới trục cơ có moment cản lớn (hình P2.15) gồm các selsyn phát và thu nối với nhau qua đường truyền, bộ khuếch đại tín hiệu và một động cơ chấp hành có trục quay ghép cơ với trục selsyn thu (liên hệ cơ khí ngược).

Khác với nguyên lý hoạt động chức năng chỉ báo, selsyn thu làm việc ở chế độ biến áp khi cần truyền tín hiệu góc quay tới trục cơ có moment cản lớn. Khi đó selsyn thu không tự tạo góc quay (cần năng lượng lớn) mà chỉ tạo tín hiệu điện áp để điều khiển một động cơ chấp hành trung gian.

Nếu bởi một tác dụng ngoại lực nào đó, rotor của selsyn phát ra khỏi vị trí cân bằng, quay đi một góc:

$$\alpha_F = \theta; \quad (P2.13)$$

thì trong cuộn ra của selsyn thu xuất hiện tín hiệu điện áp ra:

$$U_{ra} \neq 0. \quad (P2.14)$$

Điện áp này sau khi biến đổi và khuếch đại được đưa tới cuộn điều khiển của động cơ chấp hành. Động cơ chấp hành quay, kéo theo rotor của selsyn thu (bởi hai trục bị ghép nối cơ với nhau). Chuyển vị quay của rotor selsyn thu làm thay đổi sđđ. cảm ứng trong cuộn đồng bộ hoá và thay đổi cả điện áp ra. Rotor của động cơ chấp hành (và của selsyn thu) dịch chuyển cho tới khi quay được một góc bằng góc α_F (biểu thức (P2.13)-). Khi đó điện áp ra của selsyn thu $U_{ra} = 0$, tức là điện áp điều khiển động cơ chấp hành cũng bằng 0.

Chất lượng của selsyn ở chế độ biến áp. Phụ thuộc chủ yếu vào các yếu tố sau:

- Điện áp dư – điện áp ra của selsyn ở vị trí cân bằng, không phải như lý thuyết $U_{ra} = 0$, mà thường có độ lớn cỡ (0,1 ... 0,3) [V]. Nguyên nhân là do công nghệ chế tạo mạch từ không hoàn toàn đối xứng.

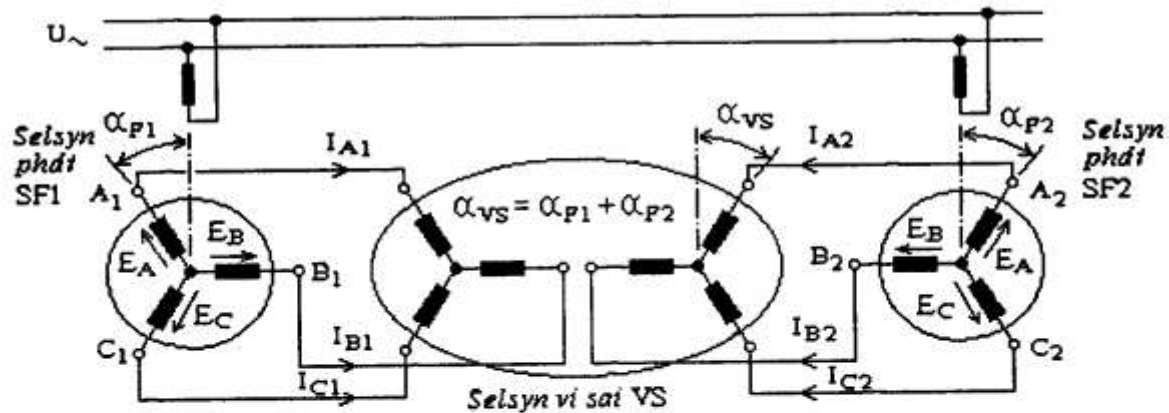
- Suất điện áp ra – điện áp ra ứng với góc sai lệch là một độ $\theta = 1^\circ$.

Suất điện áp ra của selsyn thu xác định độ nhạy của toàn hệ. Có thể làm tăng suất điện áp ra bằng cách tăng số vòng dây cuộn ra. Tuy nhiên, đồng thời cũng làm tăng trở kháng cuộn dây và giảm suất công suất của máy, buộc phải thoả hiệp với giá thành tăng độ khuếch đại và kích thước máy.

- Suất công suất ra – công suất cực đại của cuộn ra của selsyn thu ứng với góc sai lệch là một độ.
- Tính đối xứng mạch từ và mạch điện.
- Trở kháng đường truyền.

P2.2.3 – Selsyn vi sai.

Cấu trúc và nguyên lý hoạt động. Trong hệ thống liên lạc đồng bộ, selsyn vi sai được sử dụng như selsyn phát chuyển tiếp hay selsyn thu làm việc với hai selsyn phát. Hình P2.16 trình bày sơ đồ chức năng chỉ báo khi selsyn vi sai là selsyn thu của hai selsyn phát.



Hình P2.16 – Sơ đồ nguyên lý selsyn vi sai ở chức năng chỉ báo.

Các cuộn kích thích của hai selsyn phát SF1 và SF2 nối với nguồn điện xoay chiều. Cuộn đồng bộ hoá của SF1 nối với cuộn stator của selsyn vi sai VS. Cuộn đồng bộ hoá của SF2 nối với cuộn rotor của selsyn vi sai VS.

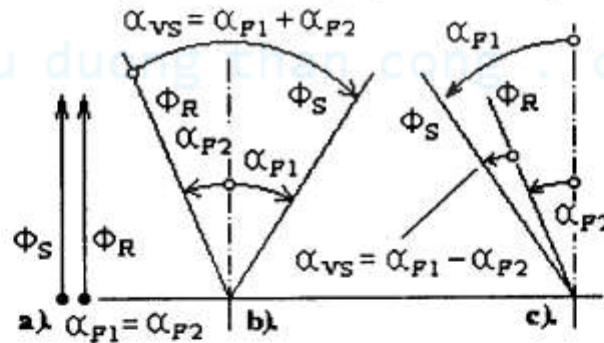
Giả sử hệ thống đang ở vị trí cân bằng ban đầu, tức là:

$$\alpha_{SF1} = \alpha_{SF2} = \alpha_{VS} = 0. \quad (P2.15)$$

Từ thông kích từ của các selsyn phát SF1 và SF2 tạo ra trong các cuộn đồng bộ hoá các sđđ. cảm ứng $E_{(A,B,C)SF1}$ và $E_{(A,B,C)SF2}$. Các sđđ. cảm ứng này sinh ra dòng điện chạy trong các cuộn stator và rotor của selsyn vi sai VS, gây ra sức-từ-động tổng F_s của cuộn stator và F_r của cuộn rotor. Các sđđ. này sinh ra các từ thông tương ứng Φ_s và Φ_r , trùng pha với nhau (bởi trong trường hợp ta đang xét các trục kích thích trùng nhau). Moment quay do các luồng từ thông này tạo ra có độ lớn tỷ lệ với tích vector của chúng:

$$M \sim \{\bar{\Phi}_s \cdot \bar{\Phi}_r\}. \quad (P2.16)$$

Vì lúc này các từ thông $\bar{\Phi}_s$ và $\bar{\Phi}_r$ trùng pha nhau, nên moment quay $M = 0$ và rotor selsyn vi sai ở trạng thái nằm yên (hình P2.17a).



Hình P2.17 – Biểu đồ vector từ thông trong selsyn vi sai.

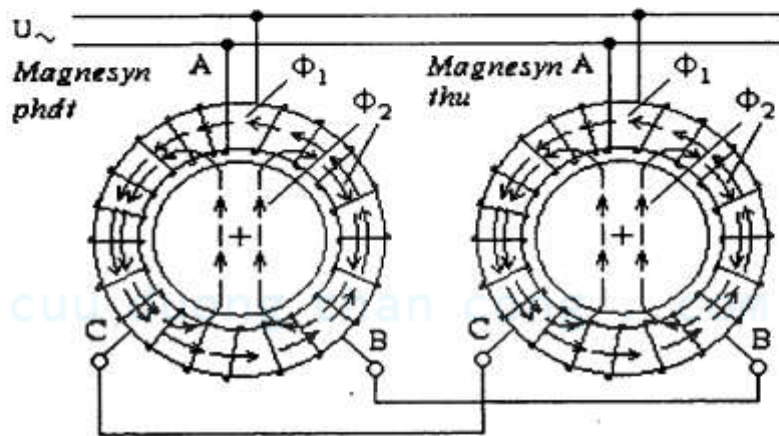
Nếu rotor của SF1 quay theo chiều kim đồng hồ một góc α_{SF1} , còn rotor của SF2 quay ngược chiều một góc là α_{SF2} thì tương ứng các luồng từ thông $\bar{\Phi}_s$ và $\bar{\Phi}_r$ cũng quay đi góc như vậy, theo chiều ngược nhau (hình P2.17b). Dưới tác dụng của các từ thông $\bar{\Phi}_s$ và $\bar{\Phi}_r$, trong selsyn vi sai VS xuất hiện moment đồng bộ hoá làm rotor quay cho tới khi đạt góc $\alpha_{VS} = \alpha_{SF1} + \alpha_{SF2}$. Lúc này các luồng từ thông $\bar{\Phi}_s$ và $\bar{\Phi}_r$ trở lại trùng pha với nhau, moment đồng bộ hoá triệt tiêu. Và như vậy

selsyn vì sai đã thực hiện góc quay bằng tổng các góc đặt từ các selsyn phát.

Trường hợp cả hai selsyn phát cùng quay một hướng thì tương tự, góc quay của rotor selsyn vì sai bằng hiệu các góc đặt từ hai selsyn phát (hình P2.17c).

P2.2.4 – Các dạng máy điện cảm ứng khác.

Máy từ-điện cảm ứng magnesyn. Magnesyn là máy điện cảm ứng từ-điện không tiếp xúc. Hình P2.18 giới thiệu nguyên lý hệ liên lạc đồng bộ sử dụng magnesyn làm việc ở chế độ chỉ thị.



Hình P2.18 – Hệ liên lạc đồng bộ dùng magnesyn.

Stator của magnesyn có dạng tròn hình vành khuyên không có răng hay rãnh, ghép từ thép tấm kỹ thuật điện hoặc hợp kim permaloi (hợp kim sắt-kền chứa $(36 \div 85) [\%]$ Ni, là vật liệu sắt-từ mềm có độ từ cảm cao). Rotor là một nam châm vĩnh cửu hai cực có dạng khối trụ.

Cuộn stator một pha được quấn quanh lõi thép stator. Các đầu ra được đấu như trên hình P2.18: hai đầu cuộn dây (điểm đầu và điểm cuối A) được đấu vào nguồn điện xoay chiều một pha; các đầu ra B và C lấy ra từ các điểm cách đầu và cuối 120° điện.

Hai magnesyn (phát và thu) được nối với nhau qua đường truyền, các đầu ra B và C của máy phát nối với các đầu tương ứng của máy thu.

Trong magnesyng tương tác hai luồng từ thông:

- Từ thông Φ_1 tạo bởi dòng điện xoay chiều trong cuộn stator. Luồng từ thông Φ_1 khép kín trong lõi thép vành khuyên stator và biến thiên với tần số điện nguồn f_1 ;
- Từ thông Φ_2 tạo bởi từ trường nam châm vĩnh cửu rotor. Luồng từ thông Φ_2 khép kín qua rotor, khe hở không khí và lõi thép stator.

Do đặc tính từ hóa (bão hòa từ) của lõi thép stator, dưới tác dụng của biến thiên từ thông Φ_1 , từ trở của mạch từ trong lõi thép hình xuyên stator biến thiên theo thời gian với tần số f_2 lớn gấp đôi f_1 .

Dưới tác dụng của từ trường quay của rotor (nam châm vĩnh cửu), trong cuộn dây stator sẽ cảm ứng một sức điện động có tần số $f_2 = 2f_1$ cộng thêm với điện áp nguồn xoay chiều tần số f_1 (điện lưới).

Khi hai magnesyng mắc với nhau theo sơ đồ hệ đồng bộ truyền góc (hình P2.18), cũng như selsyn phát và thu làm việc ở chế độ chỉ báo, khi rotor ở vị trí cân bằng, góc sai lệch bằng 0, không có dòng điện chạy qua đường truyền. Đối với nguồn điện áp tần số điện lưới f_1 , thì vì điện thế các điểm A, B, C tương ứng bằng nhau, nên không có dòng điện tần số f_1 chạy qua đường truyền. Đối với điện áp cảm ứng tần số f_2 , thì vì hai rotor phát và thu ở vị trí cân bằng, sai lệch góc quay bằng 0, nên các pha tương ứng các phần cuộn dây stator AB, BC, CA ở máy phát và máy thu bù trừ nhau, cũng không có dòng điện cảm ứng tần số f_2 chạy qua đường truyền.

Khi rotor của magnesyng phát lệch khỏi vị trí cân bằng, góc sai lệch khác 0, trong đường truyền và cuộn dây magnesyng xuất hiện dòng điện cảm ứng tần số f_2 . Chúng tương tác với từ trường nam châm vĩnh cửu rotor của magnesyng tạo ra moment đồng bộ hóa cũng như trường hợp đồng bộ hóa ở selsyn.

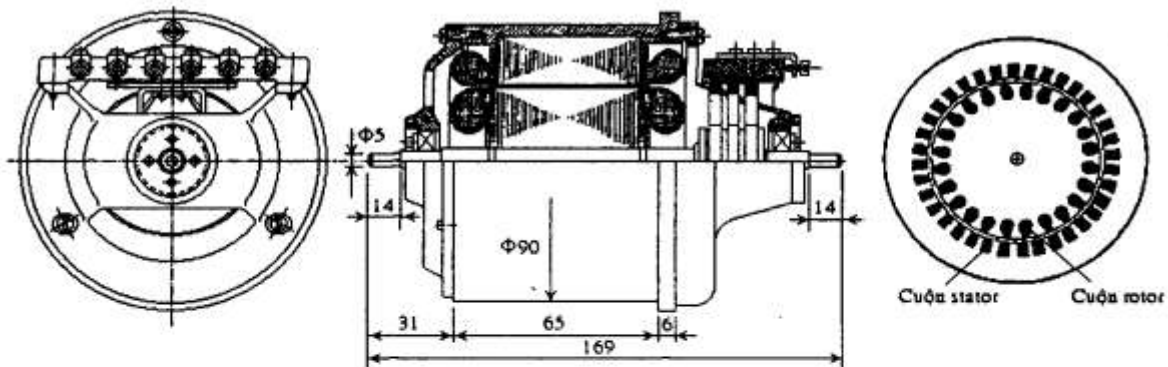
Như vậy, cũng như selsyn – máy điện cảm ứng, magnesyn có khả năng tự đồng bộ hóa. Mặc dầu có moment quay nhỏ nhưng do cấu trúc không tiếp điểm trượt và trọng lượng kích thước nhỏ, magnesyn được sử dụng nhiều trong các hệ liên lạc đồng bộ truyền góc, nhất là khi khoảng cách giữa máy phát và máy thu không lớn và trục của máy thu có moment không đáng kể. Sai số $\Delta\theta$ của chúng cỡ (1 ...2,5) độ điện.

P2.3 – Phần tử MÁY ĐIỆN CẢM ỨNG BIẾN ÁP QUAY.

P.3.1 – Đại cương về máy biến áp quay.

Nguyên lý hoạt động. Máy biến áp quay là dạng máy điện cảm ứng nhỏ hoạt động theo nguyên lý biến áp, biến đổi góc quay phần ứng thành điện áp ra với biên độ tỷ lệ, tỷ lệ tuyến tính, hay tỷ lệ hàm theo góc quay ($\sin \alpha$, $\cos \alpha$ hay α).

Về cấu trúc, biến áp quay giống như động cơ không đồng bộ hai pha rotor dây quấn hay là selsyn tiếp xúc có khe khí tròn đều làm việc ở chế độ biến áp (hình P2.19).

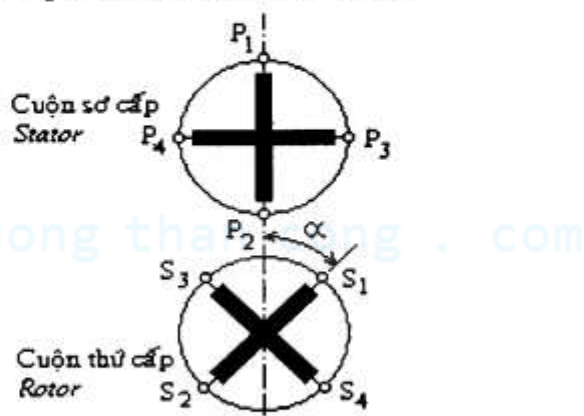


Hình P2.19 – Cấu trúc và lõi thép máy biến áp quay.

Nguyên lý cơ bản của máy là sự thay đổi hõ cảm giữa cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp. Trong trường hợp này, việc xác định cuộn dây nào là cuộn sơ cấp hay thứ cấp là tùy thuộc quan niệm. Nhưng do đây là một loại máy-điện, dù là máy-điện đặc biệt, phù hợp hơn cả là dựa theo cơ sở máy-điện phân biệt cuộn dây stator và cuộn dây rotor.

Thông thường các đầu dây ra của cuộn rotor được đưa tới vành trượt cố gáp. Dù vậy, cũng có những dạng (khi rotor quay không quá 360°) đưa ra các cuộn dây được dẫn tới một vòng biến áp *ring-transformer* bằng dây mềm. Cấu trúc cơ khí của máy biến áp quay, đặc trưng bởi những yêu cầu kỹ thuật cao về tính chất vật liệu, và các đặc tính cơ. Lõi thép của stator máy biến áp quay được ghép từ những tấm thép kỹ thuật điện có cách điện tốt và dập khuôn với độ chính xác cao. Rãnh quấn dây stator được dập chính xác với cạnh nghiêng cân xứng để giảm thiểu sai số góc và ảnh hưởng từ trở. Trong các rãnh quấn dây (có độ mở nhỏ, nửa kín) đặt dây quấn hai pha lệch nhau 90° độ điện. Hình 8.19b vẽ dạng thép tấm ghép stator và rotor. Rotor dạng hình trụ cũng có rãnh quấn hai cuộn dây lệch pha với nhau 90° độ điện. Rotor quay trên ổ bi lăn được ép lên trục.

Máy biến áp quay được chế tạo và canh chỉnh đảm bảo khoảng hở khí giữa rotor và stator tròn đều. Đối với phần tử cảm biến góc quay resolver điển hình là cỡ $50 [\mu m]$. Để đạt được điều đó bề mặt trong của stator được mài tròn với độ chính xác $\pm 1 [\mu m]$. Rotor cũng được chế tạo như vậy, được tiện và mài để có độ tròn bề mặt cần thiết. Việc chọn lựa vật liệu và gia công lõi thép điện-từ, chế tạo các cuộn dây cũng đòi hỏi những yêu cầu cao như thế. Chỉ có bằng cách đó mới đảm bảo độ chính xác của các phần tử cảm biến này.



Hình P2.20 – Sơ đồ bố trí cuộn dây máy biến áp quay.

Các cuộn dây (sơ cấp stator hay cuộn thứ cấp rotor) được chế tạo với các thông số như nhau. Sơ đồ bố trí các cuộn dây trên stator và rotor như trong hình P2.20. Cuộn sơ cấp stator ký hiệu là P, cuộn thứ cấp rotor ký hiệu là S; các đầu ra là $(P_1 - P_2)$ – cuộn phụ; $(P_3 - P_4)$ – cuộn chính; và $(S_1 - S_2)$ – cuộn *sine* S; $(S_3 - S_4)$ – cuộn *cosine* CS.

Đặc điểm của máy biến áp quay là hồ cảm giữa các cuộn sơ cấp stator và cuộn thứ cấp rotor biến đổi chặt chẽ theo quan hệ với góc quay α hay quan hệ hàm của góc quay ($\sin \alpha$ hay $\cos \alpha$) với độ chính xác cao. Máy biến áp quay có thể thực hiện các dạng hàm số khác nhau, tùy theo sơ đồ nối dây trong máy mà có đặc tính tín hiệu điện áp ra khác nhau.

Phân loại. Người ta phân biệt các dạng máy biến áp quay theo đặc tính biến đổi tín hiệu như sau:

- Máy biến áp quay sine:

$$\vec{U}_{ra} = \vec{U}_m \sin \alpha ; \quad (\text{P2.17})$$

- Máy biến áp quay sine-cosine:

$$\vec{U}_{S,ra} = \vec{U}_m \sin \alpha ; \quad \vec{U}_{CS,ra} = \vec{U}_m \cos \alpha ; \quad (\text{P2.18})$$

- Máy biến áp quay tuyến tính: $\vec{U}_{ra} = k\alpha$, với:

- Hệ số tỷ lệ k không đổi ($k = \text{const}$), khi đó:

$$\vec{U}_{ra} = k\alpha = f(\alpha) - \text{tỷ lệ góc quay}; \quad (\text{P2.19})$$

- Góc quay giữ ở một vị trí cố định ($\alpha = \alpha_0 = \text{const}$), khi đó:

$$\vec{U}_{ra} = K_{U.BAQ} - \text{tỷ số biến áp}. \quad (\text{P2.20})$$

Ứng dụng. Máy biến áp quay được ứng dụng trong các hệ tự động analog thực hiện các phép toán tính hình học lượng giác analog nhằm biến đổi hệ tọa độ, phân tích và dựng vector. Trong các hệ đo lường điều khiển, chúng được sử dụng với chức năng phần tử cảm biến đo các sai lệch chuyển vị góc.

Ngày nay phổ biến các hệ điều khiển kỹ thuật số phối hợp với các phần tử cảm biến *Transducers* analog đầu vào và các phần tử tác hoạt *Actuators* đầu ra analog. Chế xuất công nghiệp trên cơ sở nguyên lý biến áp quay dùng cho các hệ này là resolver. Về nguyên lý cấu trúc, resolver là máy biến quay cỡ nhỏ, giống như một máy phát xoay chiều kích thước nhỏ. Nhờ có thiết kiện chuẩn xác, kích thước nhỏ và độ chính xác cao, resolvers ứng dụng rộng rãi trong công nghệ đo lường điều khiển. Sẵn có nhiều phương tiện kỹ thuật số hoá tín hiệu analog đầu ra của resolver trong xử lý dữ liệu, làm cho resolver trở thành một loại phần tử máy điện thông tin đồng bộ mạnh có thể ghép nối với hệ đo lường và điều khiển số. Chúng thường được chế xuất theo kích thước tính theo đường kính. Có các cỡ 5 – 28 (đường kính tính bằng phần mười *inch*). Đối với các phần tử resolver, tùy theo yêu cầu chúng có thể thực hiện chức năng bộ điều chế điện-cơ hay phần tử cảm biến, như một modul máy tính hay phần tử chuyển vị góc. Trong đa số trường hợp, mối quan tâm chủ yếu là thuộc tính đo góc với độ chính xác cao của chúng.

P2.3.2 – Máy biến áp quay sine-cosine.

Máy biến áp quay sine. Máy biến áp quay sine làm việc chủ yếu với hai cuộn dây: cuộn sơ cấp stator P1 ($P_3 - P_4$) và cuộn thứ cấp rotor S1 ($S_1 - S_2$). Cuộn stator nối với nguồn điện áp xoay chiều kích thích, cuộn rotor sẽ cảm ứng điện áp ra tỷ lệ với góc quay trục rotor. Hình P2.21 vẽ sơ đồ nối dây và biểu đồ vector của máy điện quay sine.

Khi cung cấp cho cuộn sơ cấp P1 của máy biến áp quay nguồn điện xoay chiều u_{ω} , dòng điện trong cuộn dây sơ cấp sẽ tạo từ thông Φ_p cảm ứng sang cuộn thứ cấp S1 sđđ. $\bar{e}_{S1, \sin}$ tỷ lệ với góc quay α của rotor:

$$\bar{e}_{S1, \sin} = \dot{E}_{S1, \max} \cdot \sin \alpha ; \quad (\text{P2.21})$$

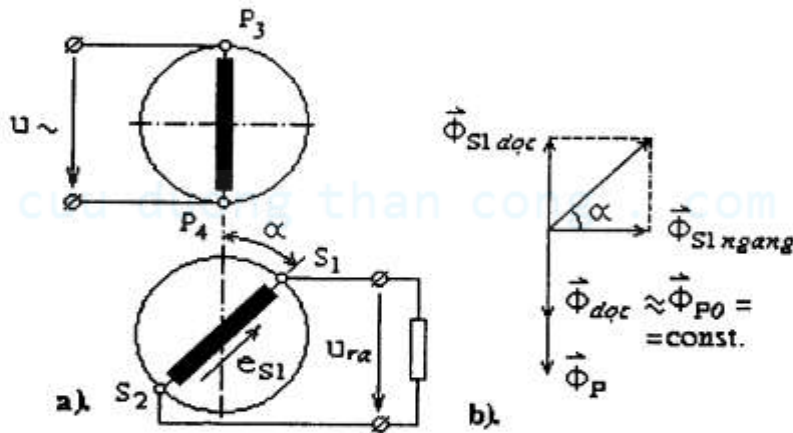
ở đây: $\dot{E}_{S1, \max}$ – giá trị sđđ. cảm ứng cực đại trong cuộn thứ cấp S1 khi trục các cuộn sơ và thứ cấp trùng nhau.

Nếu quy đổi sđđ. này sang bên sơ cấp P1 ta có:

$$\dot{E}_{S1, \max} = \frac{W_S}{W_P} \cdot \dot{E}_{P1} = K \cdot \dot{E}_{P1}; \quad (P2.22)$$

ở đây: \dot{E}_{P1} – sđđ. cảm ứng bởi từ thông Φ_P trong cuộn sơ cấp P1; K – tỷ số biến áp tác dụng của biến áp quay, bằng tỷ số vòng dây tác dụng W_P và W_S giữa cuộn sơ cấp P1 và cuộn thứ cấp S1:

$$K = \frac{W_S}{W_P}. \quad (P2.23)$$



Hình P2.21 – Sơ đồ nối dây và biểu đồ vector của máy điện quay sine.

Nếu bỏ qua phần điện áp rơi trên điện trở (thuần) của cuộn dây và điện kháng (từ hoá), có thể cho rằng sđđ. cảm ứng \dot{E}_P bằng điện áp cung cấp U_{\sim} :

$$\dot{E}_{P1} \approx U_{\sim}. \quad (P2.24)$$

Như vậy, sđđ. đầu ra của máy biến áp quay khi không tải ($Z_{S1, \text{ tải}} = \infty$) có dạng:

$$\bar{e}_{S1.\sin} = K \cdot \dot{E}_{P1} \cdot \sin \alpha \cong \bar{u}_p \cdot k(\alpha); \quad (P2.25)$$

ở đây: $k(\alpha)$ – hệ số biến áp của máy biến áp quay ứng với góc quay α , là hàm của α :

$$k(\alpha) = K \cdot \sin \alpha = \frac{W_S}{W_P} \cdot \sin \alpha. \quad (8.26)$$

Từ các biểu thức (P2.25), (P2.26) ta thấy rằng khi này điện áp ra của biến áp quay tỷ lệ với góc quay α , nói đúng hơn, là tỷ lệ với $\sin \alpha$.

Tuy nhiên, các biểu thức trên chỉ đúng khi đầu ra máy biến áp quay không tải.

Khi có tải ($Z_{S1.tai} \neq \infty$), xuất hiện dòng điện trong mạch thứ cấp $\dot{I}_{S1} \neq 0$, sẽ sinh ra từ thông Φ_{S1} hướng theo trục cuộn S1 (hình P2.20b).

Ở đây ta xét ảnh hưởng của từ trường phản ứng phần ứng rotor gây ra bởi dòng điện trong mạch thứ cấp \dot{I}_{S1} tới điện áp tín hiệu ra của máy biến áp quay sine.

Có thể phân tích từ thông Φ_{S1} thành hai thành phần:

Từ thông dọc trục $\Phi_{S.doc}$ hướng dọc theo trục cuộn sơ cấp P1;

Từ thông ngang trục $\Phi_{S.ngang}$ hướng vuông góc với trục cuộn sơ cấp P1.

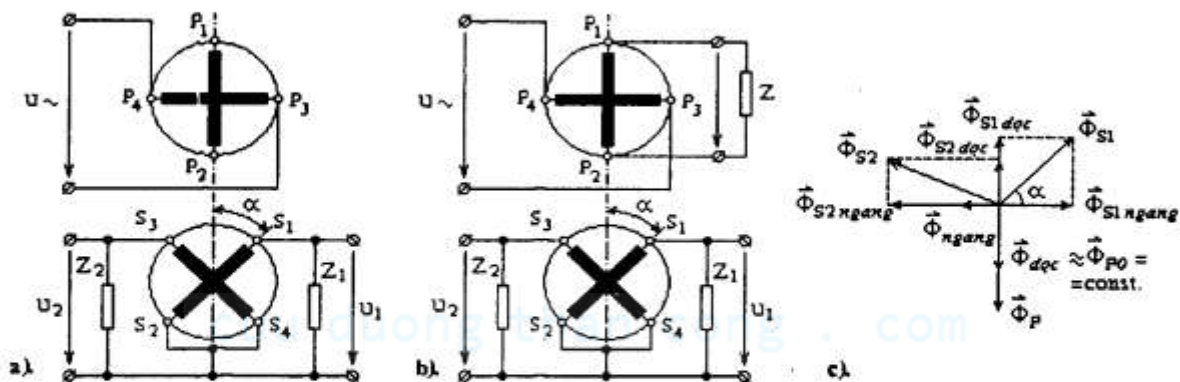
Như thấy trong hình P2.20b, từ thông ngang trục $\Phi_{S.ngang}$ không cắt qua cuộn sơ cấp P1, nên không bù trừ được bằng sự tăng giảm dòng sơ cấp, mà sinh ra sđđ. tự cảm trong chính cuộn thứ cấp S1, xếp chồng lên sđđ. $\bar{E}_{S1.\sin}$ (biểu thức (P2.21) hay (P2.25)-), và làm cho sđđ tổng của cuộn thứ cấp S1 biến đổi không còn đúng biểu thức (P2.25) dạng hàm sine của góc quay α nữa. Vì vậy trong thực tế, máy biến áp quay ít được sử dụng một cách thuần túy chỉ với hai cuộn dây (sơ cấp và thứ cấp – hình P2.21).

Nguyên nhân gây ra sai số ở đây là thành phần từ thông ngang trục của từ trường phản ứng phần ứng của máy như nêu trên. Biện pháp khắc phục là làm đối xứng hoá máy biến áp quay (đối xứng hoá sơ cấp hay đối xứng hoá thứ cấp). Việc này được áp dụng trong các phương án sơ đồ biến áp quay sine-cosine dưới đây.

Máy biến áp quay sine-cosine. Máy biến áp quay sine-cosine có bốn cuộn dây, hai cuộn sơ cấp trên stator (cuộn P1 và P2) lệch pha nhau trong không gian 90° độ điện, có các thông số như nhau; hai cuộn thứ cấp trên rotor (cuộn S1 và S2) có thông số như nhau và cũng lệch nhau 90° độ điện (hình P2.22).

Có hai phương án đấu dây các cuộn stator và rotor.

Phương án 3 cuộn dây (hình P2.22a). Trên stator dùng một cuộn dây là cuộn sơ cấp cung cấp điện áp nguồn xoay chiều (cuộn thứ hai để hở mạch). Hai cuộn dây thứ cấp rotor bố trí lệch pha nhau 90° độ điện sẽ cảm ứng các sđđ. có độ lớn phụ thuộc vào vị trí các cuộn dây đối với cuộn stator, tức là phụ thuộc góc quay của rotor. Khi góc lệch α giữa rotor và stator tăng từ $(0 \dots 90^\circ)$, sđđ. cảm ứng trong cuộn dây rotor sẽ biến thiên tới cực đại (khi trục cuộn dây trùng với trục cuộn sơ cấp stator) rồi giảm xuống theo dạng sine.



Hình P2.22 – Sơ đồ đấu dây và biểu đồ vector từ thông trong máy biến áp quay sine-cosine.

Bởi vì hai cuộn rotor lệch pha nhau góc 90° độ điện trong không gian, nên khi sđđ. trong cuộn S1 biến thiên theo dạng hàm sine của góc

quay α , thì sđđ. trong cuộn S2 sẽ biến thiên dạng hàm $\cos \alpha$. Do đó, ứng với góc lệch α , trên tải hai cuộn dây thứ cấp rotor sẽ có điện áp ra:

$$\bar{U}_1 = \bar{E}_{S1} \approx K \cdot \dot{E}_P \cdot \sin \alpha = \dot{U}_P \cdot \sin \alpha ; \quad (\text{P2.27})$$

$$\bar{U}_2 = \bar{E}_{S2} \approx K \cdot \dot{E}_P \cdot \cos \alpha = \dot{U}_P \cdot \cos \alpha . \quad (\text{P2.28})$$

Với biểu thức (P2.23) của tỷ số vòng dây tác dụng thứ cấp và sơ cấp K và các biểu thức (P2.27), (P2.28), ta có hệ số biến áp của máy quay sine-cosine tương ứng theo các hàm sine (đầu ra cuộn S1) và hàm cosine (đầu ra S2) là:

$$k_{\sin}(\alpha) = \frac{W_{S1}}{W_P} \cdot \sin \alpha = K \cdot \sin \alpha ; \quad (\text{P2.29})$$

$$k_{\cos}(\alpha) = \frac{W_{S2}}{W_P} \cdot \cos \alpha = K \cdot \cos \alpha . \quad (\text{P2.30})$$

Bởi các cuộn dây rotor S1 và S2 được chế tạo có các thông số giống nhau ($W_{S1} = W_{S2}$), nên trong các biểu thức (P2.29), (P2.30) tỷ số biến áp tác dụng K là như nhau. Tuy nhiên, như nêu trên, do thành phần từ thông ngang trục của từ trường phản ứng phần ứng của máy khi có dòng điện tải gây ra, sđđ trong cuộn S2 không hoàn toàn biến thiên theo dạng hàm cosine. Trong hình P2.22c chiều các luồng từ thông ngang trục của các cuộn rotor ($\bar{\Phi}_{S1,ngang}$ và $\bar{\Phi}_{S2,ngang}$) ngược chiều nhau, nên từ thông tổng sẽ bằng:

$$\bar{\Phi}_{ngang} = (\bar{\Phi}_{S1,ngang} + \bar{\Phi}_{S2,ngang}) . \quad (\text{P2.31})$$

Tức là về giá trị (độ lớn) từ thông tổng Φ_{ngang} sẽ nhỏ hơn so với trường hợp máy chỉ dùng một cuộn thứ cấp. Như vậy, phần nào sai số do phản ứng phần ứng ở trường hợp này sẽ nhỏ hơn ở máy biến áp quay sine (hình P2.21).

Để hoàn toàn khử bỏ ảnh hưởng từ trường ngang trục (P2.31) thì phải có biện pháp làm cho:

$$\bar{\Phi}_{S1,ngang} = \bar{\Phi}_{S2,ngang} . \quad (\text{P2.32})$$

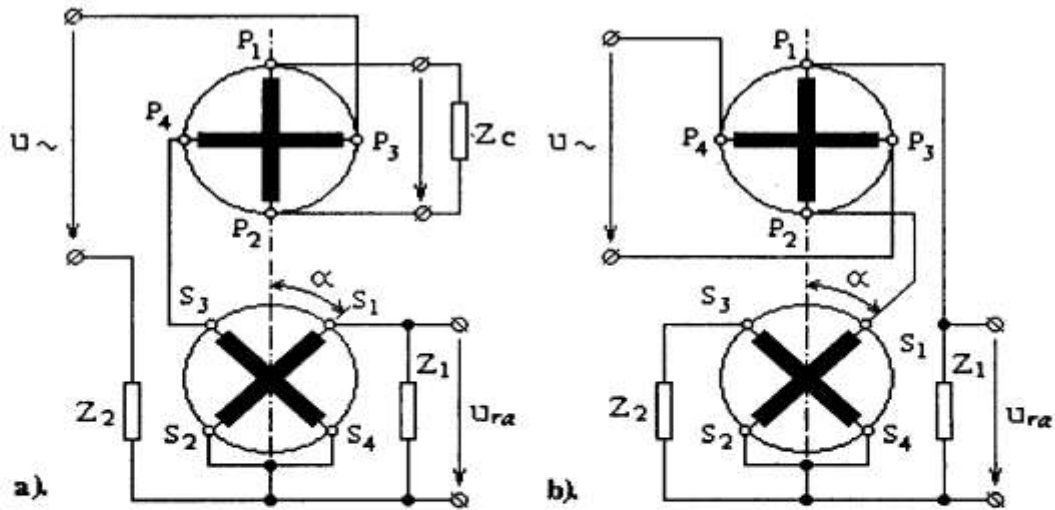
Điều này có thể thực hiện được bằng cách đối xứng hoá mạch từ của máy điện, lựa chọn tổng trở mạch thứ cấp rotor sao cho đảm bảo (P2.32). Công nghệ chế tạo máy biến áp quay đảm bảo điều kiện $W_{S1} = W_{S2}$, ngoài ra còn phải cân bằng tải, chọn tải $Z_1 = Z_2$.

Do đó, phương án đấu dây máy biến áp sine-cosine này là phương án đối xứng hoá thứ cấp.

Phương án 4 cuộn dây – đối xứng hoá sơ cấp: Hình P2.22b là sơ đồ đấu dây máy biến áp sine-cosine theo phương án đối xứng hoá sơ cấp, chỉ khác phương án hình P2.22a là cuộn dây thứ hai trong phần sơ cấp stator được đấu với một trở kháng bù Z_C để khử từ thông phản ứng ngang trục của rotor.

Đối xứng hoá sơ cấp là lựa chọn tổng trở mạch sơ cấp để luồng từ thông ngang trục của máy bằng 0. Điều kiện này có thể thực hiện bằng cách làm cho tổng trở mạch hai cuộn dây sơ cấp bằng nhau. Thông thường điện trở dây nối cuộn kích thích sơ cấp với nguồn là nhỏ có thể bỏ qua. Cấu tạo công nghệ của máy biến áp quay cũng đảm bảo trở kháng trong của hai cuộn dây là như nhau. Do đó điều kiện đối xứng hoá sơ cấp là lựa chọn trở kháng bù Z_C mắc vào cuộn phụ stator bằng trở kháng trong của nguồn kích thích xoay chiều u_- . Trên thực tế, bởi nguồn cung cấp công suất lớn thường có nội trở coi như bằng 0, khi đó cuộn phụ trên stator thường được nối ngắn mạch.

P2.3.3 – Máy biến áp quay tỷ lệ. Dạng máy biến áp quay tuyến tính thông thường, nhưng góc quay được giữ cố định ở một vị trí góc nào đó $\alpha = \alpha_0$, tức là giữ cho hệ số tỷ lệ k không đổi. Hình P2.23 là sơ đồ đấu dây máy biến áp quay tuyến tính với phương án đối xứng hoá sơ cấp và thứ cấp.



Hình P2.23 – Sơ đồ đấu dây máy biến áp quay tuyến tính

- Phương án đối xứng hoá sơ cấp;
- Phương án đối xứng hoá thứ cấp.

Từ các biểu thức (P2.27) và (P2.28), ta thấy điện áp ra của các cuộn dây phần ứng tỷ lệ với góc quay rotor $\vec{U}_{ra} = k\alpha = f(\alpha)$, có hệ số biến áp k của máy biến áp quay tương ứng các hàm sine (đầu ra cuộn S1) và hàm cosine (đầu ra S2) của góc quay rotor – (biểu thức (P2.29) và (P2.30) -). Nếu giữ không đổi hệ số biến áp k của máy, thì ta có điện áp ra tỷ lệ với tỷ số biến áp $\vec{U}_{ra} = K_{U.BAQ}$.

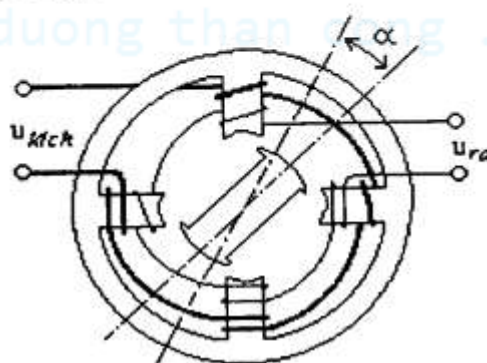
Theo biểu thức (P2.26), khi rotor quay được giữ cố định ở một vị trí góc nào đó $\alpha = \alpha_0$, thì hệ số biến áp k sẽ có giá trị không đổi $k = const$. Như vậy, sau khi điều chỉnh góc quay rotor α của máy để điện áp ra đạt một giá trị tỷ lệ tương ứng nào đó, rồi cố định lại (bằng cơ cấu cố định riêng), ta có máy biến áp quay tỷ lệ làm việc như một biến áp cố định thông thường, với tỷ số biến áp tương ứng.

Về phương diện nào đó, cũng có thể coi máy biến áp quay (sine-cosine) làm việc ở chế độ tỷ lệ này là máy biến áp quay tuyến tính, bởi điện áp ra có quan hệ tuyến tính với chính góc quay rotor $\vec{U}_{ra} = k\alpha$.

P2.3.4 – Các dạng máy biến áp quay khác.

Máy điện đồng bộ microsyn. Hình P2.24 giới thiệu nguyên lý máy điện đồng bộ không tiếp xúc loại nhỏ microsyn. Stator và rotor được ghép bằng thép tấm kỹ thuật điện hay vật liệu hợp kim sắt-từ mềm, có hai cặp cực mắc các cuộn dây kích thích và cuộn cảm ứng đồng bộ. Rotor cực lõi, không dây quấn.

Các cuộn kích thích mắc nối tiếp, được cung cấp điện áp tần số 10 [kHz], độ lớn vài chục volt. Các cuộn đồng bộ cũng được mắc nối tiếp, nhưng có chiều đấu dây sao cho từ thông trên các cặp cực stator và sức điện động cảm ứng trong nó là xung đối so với cuộn kích thích. Khi lõi sắt-từ rotor ở vị trí trục đối xứng của hai cặp cực stator, từ thông của các cặp cực và sức điện động cảm ứng là bằng nhau nên điện áp đầu ra bằng 0. Khi rotor dịch chuyển đi một góc, từ thông và điện áp cảm ứng trong cuộn đồng bộ hoá sẽ biến thiên và điện áp đầu ra tỷ lệ với dịch chuyển góc α .



Hình P2.24 – Máy đo microsyn.

Như vậy, về nguyên lý, microsyn giống như selsyn không tiếp xúc làm việc ở chế độ biến áp, cho tín hiệu điện áp ra tỷ lệ với góc quay dẫn động. Cho nên ứng dụng chủ yếu của microsyn là đo góc chuyển vị.

Cũng có thể xem xét nguyên lý hoạt động của microsyn theo nguyên lý biến áp quay vì sai có phần ứng là lõi sắt-từ. Các cuộn dây sơ cấp và thứ cấp được lắp trên phần tĩnh là stator 4 cực (xem chương 4).

Máy đo góc tuyệt đối (Resolver). Như đã nêu ở trên, resolver là chế xuất công nghiệp trên cơ sở nguyên lý biến áp quay. Tùy theo yêu cầu ứng dụng, chúng có thể thực hiện chức năng bộ điều chế điện-cơ hay phần tử cảm biến, như một modul máy tính hay phần tử chuyển vị góc. Trong chương 4 đã nêu ứng dụng resolver làm phần tử cảm biến chuyển vị góc và tốc độ quay với độ chính xác cao. Nhờ có thiết kiện chuẩn xác, kích thước nhỏ và độ chính xác cao, và thực tế trên thị trường chế xuất công nghiệp sẵn có nhiều phương tiện kỹ thuật số hoá tín hiệu analog đầu ra của resolver, làm cho chúng trở thành một loại phần tử máy điện thông tin đồng bộ mạnh để kết nối với hệ đo lường và điều khiển số. Thuộc loại máy điện cảm ứng đồng bộ resolver này còn có những dạng khác như resolver có các cuộn bù phụ; máy chuyển phát điều khiển *control transmitter*, máy chuyển phát điều khiển vi sai *control differential transmitter*, máy biến áp quay điều khiển *control transformer*, và transolver.

cuu duong than cong . com



cuu duong than cong . com

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Mess- und Regelungstechnik. K.Boether, H.Breckwoldt, H-J.Siedler, R.Wieting; Pflaum Verlag, Muenchen, 1995. Tiếng Đức.
2. Position Sensing Angle and Distance Measurement for Engineers. H.Walcher, Butterworth Heinemann, 1994. Tiếng Anh.
3. Sensor Technology Handbook. Jon S. Winson, Ed.-in-Chief, Elsevier Inc., 2005. Tiếng Anh.
4. Sensors and Actuators (A,B&C), Journal by Elsevier Science of Amsterdam, Netherlands. Tiếng Anh.
5. Modern Control Technology – Components & System, 2nd Ed. Tiếng Anh.
6. MEMSnet, online Web site: www.memsnet.org; Corporation for National Research Initiatives of Reston, Virginia, USA, and Nexus Association of Grenoble, France.
7. The Mechatronics Handbook, Robert H.Bishop, Ed.-in-Chief, CRC Press LLC, 2002, online Web site: www.crcpress.com.
8. Các bộ cảm biến trong kỹ thuật đo lường và điều khiển. Chủ biên: Lê Văn Doanh, NXB KHKT, Hà Nội, 2001.
9. Đo lường các đại lượng không điện (Tập bài giảng). Nguyễn Khắc Hải, Cục TCĐLCL, Hà nội, 1992.
10. Kỹ thuật điều khiển tự động (Tập bài giảng). Đào Thái Diệu, TP.HCM, 2007.
11. Tự động hóa sản xuất (Tập bài giảng). Đào Thái Diệu, TP.HCM, 2006.
12. Kỹ thuật vi xử lý ứng dụng trong đo lường điều khiển (Tập bài giảng). Đào Thái Diệu, TP.HCM, 2005.

13. Phần tử tự động (Tập bài giảng). Đào Thái Diệu, TP.HCM, 2004.
14. Kỹ thuật đo điện – điện tử (Tập bài giảng). Đào Thái Diệu, TP.HCM, 2002.
15. Hệ thống thông tin đo lường (Tập bài giảng). Đào Thái Diệu, TP.HCM, 2000.
16. Kỹ thuật cảm biến đo lường và điều khiển (Tập bài giảng). Đào Thái Diệu, TP.HCM, 2006.



cuu duong than cong . com

cuu duong than cong . com

MỤC LỤC

DẪN NHẬP.....	3
BÀI 1 CƠ SỞ KỸ THUẬT CẢM BIẾN ĐO LƯỜNG.	5
CHƯƠNG 1. KHÁI NIỆM CHUNG.....	5
1.1 – <i>Khái niệm hệ thống đo lường và điều khiển.....</i>	<i>5</i>
1.2 – <i>Các phần tử chủ yếu của hệ thống.</i>	<i>11</i>
1.3 – <i>Các đặc tính cơ bản.</i>	<i>16</i>
1.4 – <i>Cơ sở ứng dụng.</i>	<i>31</i>
1.4.1 – <i>Đặc tính vận hành của một cảm biến cụ thể.</i>	<i>31</i>
1.4.2 – <i>Các vấn đề ứng dụng.....</i>	<i>33</i>
1.4.3 – <i>Lắp đặt.</i>	<i>41</i>
1.4.4 – <i>Kết quả và chuẩn hoá.....</i>	<i>43</i>
BÀI 2 KỸ THUẬT CẢM BIẾN ÁNH SÁNG.....	46
CHƯƠNG 2 CẢM BIẾN VÀ ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG ÁNH SÁNG.....	46
2.1 – <i>Những khái niệm cơ bản về ánh sáng.</i>	<i>46</i>
2.1.1 – <i>Khái niệm ánh sáng.....</i>	<i>46</i>
2.1.2 – <i>Định nghĩa khái niệm các đại lượng quang.</i>	<i>50</i>
2.1.3 – <i>Nguồn sáng.</i>	<i>55</i>
2.2 – <i>Cảm biến quang.</i>	<i>65</i>
2.2.1 – <i>Nguyên lý cảm biến – Phân loại. Các phần tử quang-điện được phân ra:.....</i>	<i>65</i>
2.2.2 – <i>Các phần tử cảm quang.</i>	<i>68</i>
2.2.3 – <i>Cảm biến phát xạ: Tế bào quang-điện.</i>	<i>82</i>
2.3 – <i>Ứng dụng các phần tử cảm biến quang, đo các đại lượng ánh sáng.....</i>	<i>88</i>
2.3.1 – <i>Khái quát. Có hai phương pháp chủ yếu đo ánh sáng:.....</i>	<i>88</i>
2.3.2 – <i>Các thiết bị thông dụng đo ánh sáng theo phương pháp trực quan... </i>	<i>89</i>
2.3.3 – <i>Phương pháp đo các đại lượng quang theo kỹ thuật đo điện.</i>	<i>89</i>
BÀI 3 KỸ THUẬT CẢM BIẾN NHIỆT ĐỘ CÔNG NGHIỆP.....	90
CHƯƠNG 3. CẢM BIẾN ĐO NHIỆT ĐỘ. PHẦN 1.....	90
3.1 – <i>Khái niệm chung.</i>	<i>90</i>
3.2 – <i>Các phần tử cảm biến nhiệt kim loại.</i>	<i>100</i>
3.2.1 – <i>Phần tử cảm biến nhiệt dẫn nờ.</i>	<i>100</i>
3.2.2 – <i>Nhiệt điện trở kim loại Thermoresistances.</i>	<i>106</i>
3.2.3 – <i>Cặp nhiệt-ngẫu Thermocouple.</i>	<i>123</i>
BÀI 4 KỸ THUẬT CẢM BIẾN NHIỆT ĐỘ THẤP.	143
CHƯƠNG 3. CẢM BIẾN ĐO NHIỆT ĐỘ. PHẦN 2.....	143
3.3 – <i>Phần tử cảm biến nhiệt bán dẫn.....</i>	<i>143</i>
3.3.1 – <i>Nhiệt điện trở bán dẫn Thermistor. Thermistor (thermal sensitive resistor – điện trở nhạy nhiệt), là linh kiện nhiệt điện trở bán dẫn, làm từ vật liệu bán dẫn có điện trở phụ thuộc vào nhiệt độ. Trong ứng dụng</i>	

thermistors được coi như dụng cụ hai cửa, hoạt động theo nguyên lý thay đổi điện trở theo nhiệt độ,	143
3.3.2 – Phần tử cảm biến nhiệt bán dẫn silicon.	158
3.3.3 – Vi mạch cảm biến nhiệt bán dẫn.	163
3.4 – <i>Cảm biến bức xạ</i>	169
3.4.1 – Khái niệm bức xạ nhiệt.	169
3.4.2 – Hoả kế bức xạ.	170
3.4.3 – Hoả kế hồng ngoại IR <i>Infrared Pyrometry</i>	172
BÀI 5 KỸ THUẬT CẢM BIẾN VỊ TRÍ VÀ KHOẢNG CÁCH.	175
CHƯƠNG 4 CẢM BIẾN VÀ ĐO CÁC CHUYỂN VỊ VẬT THỂ. PHẦN 1.	175
4.1 – <i>Khái niệm chung</i>	176
4.1.1 – Đại cương về chuyển vị vật thể.	176
4.1.2 – Phân loại các phần tử cảm biến chuyển vị.	179
4.1.3 – Phương pháp xác định kích thước hình học và chuyển vị.	181
4.2 – <i>Cảm biến chuyển dịch (thẳng linear-, và chuyển dịch góc angular-)</i>	187
4.2.1 – Khái niệm chung.	187
4.2.2 – Phần tử biến trở <i>Resistance Transducer</i>	187
4.2.3 – Phần tử biến dung <i>Capacitance Transducers</i>	200
4.2.4 – Phần tử biến cảm <i>Inductance Transducers</i>	209
4.2.5 – Các phần tử cảm biến chuyển vị khác.	226
4.2.6 – Cảm biến chuyển dịch góc <i>angular-</i>	232
BÀI 6 KỸ THUẬT CẢM BIẾN VẬN TỐC VÀ GIA TỐC.	238
CHƯƠNG 4 CẢM BIẾN VÀ ĐO CÁC CHUYỂN VỊ VẬT THỂ PHẦN 2	238
4.3 – <i>Cảm biến tốc độ và gia tốc chuyển vị</i>	239
4.3.1 – Khái niệm chung.	239
4.3.2 – Cảm biến đo vận tốc.	239
4.3.3 – Cảm biến đo gia tốc.	244
BÀI 7 KỸ THUẬT CẢM BIẾN LỰC.	247
CHƯƠNG 5. – CẢM BIẾN ĐO LỰC VÀ TÁC DỤNG LỰC. PHẦN 1.	247
<i>Khái niệm chung</i>	247
Đại cương về lực và tác dụng lực.	247
Đại cương về tác dụng lực ứng suất và áp suất.	251
5.1 – CẢM BIẾN ĐO LỰC	253
Phân loại.	253
5.1.1 Phần tử biến dạng đàn hồi kiểu biến trở.	254
Phần tử cảm biến biến dạng đàn hồi biến trở kim loại.	256
Nguyên lý dây đo biến dạng <i>Strain Gage</i>	256
Cơ sở công nghệ chế tạo dây đo biến dạng.	259
Các dạng kết cấu cảm biến cơ bản.	273
Cảm biến dạng thanh dầm <i>Bending Beam</i>	273
Kỹ thuật ứng dụng.	275
Dạng chức năng chung.	275
Dạng định lượng độ mỏi <i>Fatigue Rated</i>	275

Dạng chuyên dụng Special Application.....	277
Các cảm biến đo lực thấp. Phần tử cảm biến điện dẫn.....	278
5.1.2 – Phần tử biến dạng đàn hồi bán dẫn.....	283
Phần tử cảm biến dạng bán dẫn silicon.....	283
Phần tử cảm biến áp-điện <i>piezoelectric</i>	285
Cảm biến lực áp-điện kiểu điện tích trở kháng cao <i>Charge Mode, High-Impedance</i>	289
Cảm biến lực áp-điện kiểu điện áp trở kháng thấp <i>Voltage Mode, Low-Impedance</i>	291
Lựa chọn và đặc trưng cảm biến lực kiểu áp-điện thạch anh.....	292
Phần tử cảm biến dạng màng. Màng áp-điện chất dẻo.....	295
5.1.3 – Các phần tử cảm biến vật lý khác.....	297
5.1.4 – Mạch cầu đo ứng dụng điển hình và chuẩn hoá tín hiệu.....	302
Mạch cầu đo ứng dụng.....	302
BÀI 8 KỸ THUẬT CẢM BIẾN ÁP SUẤT.....	311
CHƯƠNG 5. – CẢM BIẾN ĐO LỰC VÀ TÁC DỤNG LỰC. PHẦN 2.....	311
5.2 CẢM BIẾN ĐO ÁP SUẤT.....	311
Khái niệm chung.....	311
5.2.1 Cảm biến áp suất kiểu điện trở bán dẫn silicon.....	315
5.2.2 Các cảm biến áp suất kiểu điện trở áp-điện piezo.....	340
BÀI 9 KỸ THUẬT CẢM BIẾN LƯU LƯỢNG CHẤT LƯU.....	369
CHƯƠNG 6. CẢM BIẾN LƯU LƯỢNG, MỨC VÀ ĐỘ ẨM PHẦN 1.....	369
Khái niệm chung.....	369
Đại cương về cơ lưu chất và lưu lượng.....	369
6.1 Cảm biến đo lưu lượng.....	371
6.1.1 Phong vũ biểu nhiệt <i>Thermal Anemometer</i>	372
6.1.2 Hệ cảm biến đo áp suất vi sai.....	373
6.1.3 Các cảm biến chảy xoáy <i>Vortex-Shedding</i>	378
6.1.4 Các cảm biến lưu lượng kiểu chuyển vị tích cực <i>Positive Displacement Flow Sensors</i>	379
6.1.5 Các máy đo lưu lượng thể khối <i>Mass Flowmeters</i>	384
6.1.6 – Lưu lượng kế từ-điện.....	385
6.1.7 Các cảm biến lưu lượng siêu âm.....	387
6.1.8 Lựa chọn các cảm biến lưu lượng.....	392
6.1.9 Lắp đặt và bảo trì sửa chữa.....	393
6.1.10 Những tiến bộ kỹ thuật cảm biến lưu lượng.....	396
BÀI 10 KỸ THUẬT CẢM BIẾN MỨC VÀ ĐỘ ẨM.....	398
CHƯƠNG 6. CẢM BIẾN LƯU LƯỢNG, MỨC VÀ ĐỘ ẨM PHẦN 2.....	398
6.2 Cảm biến đo mức.....	398
6.2.1 Máy đo mức kiểu gián đoạn.....	399
6.2.2 Máy đo mức kiểu liên tục.....	400
6.2.3 Lựa chọn công nghệ cảm biến mức.....	410
6.3 – Đo độ ẩm.....	411

Khái niệm chung.....	411
6.3.1 Các công nghệ và kiểu dạng cảm biến.....	414
6.3.2 Lựa chọn và đặc tính kỹ thuật của các cảm biến độ ẩm.....	421
6.3.3 Khai thác sử dụng.....	426
PHỤ LỤC 1 – CƠ SỞ LÝ THUYẾT	431
PHẦN TỬ CẢM BIẾN THAM SỐ MẠCH.....	431
<i>P1.1 – Khái niệm tham số mạch: trở kháng – điện trở – điện kháng.....</i>	<i>431</i>
<i>P1.2 – Sơ đồ tương đương của các phần tử tham số mạch.....</i>	<i>433</i>
<i>P1.3 – Các phần tử cảm biến tham số.....</i>	<i>436</i>
P1.3.1 – Phần tử biến trở <i>Resistance Transducer</i>	436
Các thông số đặc trưng của biến trở.....	437
P1.3.2 – Phần tử biến dung <i>Capacitance Transducer</i>	438
P1.3.3 – Phần tử biến cảm <i>Inductance Transducer</i>	441
PHỤ LỤC 2	446
PHẦN TỬ CẢM BIẾN MÁY ĐIỆN THÔNG TIN.....	446
<i>P2.1 – Phần tử MÁY ĐIỆN PHÁT TỐC Tacho-generator.....</i>	<i>446</i>
P2.1.1 – Đại cương về máy phát tốc <i>Tacho-generator</i>	446
P2.1.2 – Máy phát tốc xoay chiều.....	451
P2.1.3 – Máy phát tốc một chiều.....	455
P2.1.4 – Ứng dụng.....	459
<i>P2.2 – Phần tử MÁY ĐIỆN cảm ứng selsyn.....</i>	<i>461</i>
P2.2.1 – Đại cương về máy điện cảm ứng selsyn.....	461
P2.2.2 – Selsyn một pha.....	462
P2.2.3 – Selsyn vi sai.....	469
P2.2.4 – Các dạng máy điện cảm ứng khác.....	471
<i>P2.3 – Phần tử MÁY ĐIỆN CẢM ỨNG BIẾN ÁP QUAY.....</i>	<i>473</i>
P3.1 – Đại cương về máy biến áp quay.....	473
P2.3.2 – Máy biến áp quay sine-cosine.....	476
P2.3.4 – Các dạng máy biến áp quay khác.....	483
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	485

cuu duong than cong . com