

CHƯƠNG 16.

ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG CƠ HỌC (3 LT)

16.1. Cơ sở chung và phân loại các phương pháp.

Các đại lượng cơ học bao gồm: các đại lượng về kích thước và khoảng cách, các thông số của các quá trình chuyển động (vận tốc, gia tốc), các đại lượng áp suất, lực, ứng suất...

16.1.1. Các phương pháp đo kích thước và di chuyển:

Đo kích thước, khoảng cách và di chuyển hoàn toàn giống nhau về phương pháp. Đo kích thước được phân làm hai loại: kích thước thẳng và kích thước góc.

Đo kích thước thẳng: được thực hiện trong một dải rộng từ vài phần micrômét cho đến các khoảng cách hàng trăm hoặc hàng ngàn kilômét. Dải kích thước thường gặp trong thực tế có thể chia thành một số nhóm đặc trưng sau:

- Đo khoảng cách giữa các vật thể; đo mức: nước, xăng, dầu trong các thùng chứa, trong máy bay, ô tô... có giới hạn đo từ 100mm ÷ 100m.
- Đo kích thước trong ngành cơ khí, chế tạo máy: từ vài micrômét đến vài mét.
- Đo độ bóng bề mặt chi tiết gia công hoặc chiều dày lớp phủ các chi tiết: có thể từ vài phần micrômét đến hàng chục micrômét.
- Đo khoảng cách lớn hàng trăm mét đến hàng nghìn kilômét.

Tuỳ theo yêu cầu ta có thể dùng các loại chuyển đổi và các phương pháp khác nhau. Bảng 16.1 là chỉ dẫn tóm tắt các loại chuyển đổi dùng để đo kích thước và dải đo của chúng:

Loại chuyển đổi	0,1µm	1µm	10µm	100µm	1mm	10mm	100mm
Biến trở							
Thước mã hóa							
Điện dung							
Điện cảm							
Tiếp xúc							
Điện trở lực căng							
Áp điện							

Bảng 16.1. Chỉ dẫn tóm tắt các loại chuyển đổi dùng để đo kích thước và dải đo

Đo kích thước góc: có thể đo góc quay từ 0 ÷ 360°, được đo bằng các phương pháp đo thông thường hoặc phương pháp quang học và đạt độ chính xác từ 0,5' ÷ 1'. Dải đo kích thước góc không vượt quá D = 2000 ÷ 4000. Thông thường dụng cụ đo kích thước góc là các biến trở đo lường, có giới hạn đo trên có thể đạt đến 360° nhưng trên thực tế chỉ thực hiện đo các góc 90°, 60° hoặc 10° ÷ 15° với ngưỡng nhảy 10' ÷ 20'. Khi cần đo với độ chính xác cao hơn có thể dùng phương

pháp rời rạc hoá dựa trên các chuyển đổi điện, đĩa mã hoá, hệ thống quang điện... Các phương pháp này đạt được sai số $1 \div 30''$ và ngưỡng nhảy khoảng $1''$.

16.1.2. Các phương pháp đo các thông số chuyển động:

Thông số chuyển động thường được chia thành hai dạng: chuyển động tịnh tiến, chuyển động quay và chuyển động dao động (dao động thẳng hoặc xoắn).

Nguyên lý cơ bản: thông số của các chuyển động là khoảng rời, tốc độ và gia tốc. Quan hệ giữa chúng là những phép vi tích phân đơn giản. Nếu ta gọi giá trị tức thời của khoảng rời là x thì:

$$\text{tốc độ là: } \dot{x} = \frac{dx}{dt}; \quad \text{gia tốc là: } \ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2}$$

Vì vậy muốn tìm được tốc độ ta chỉ cần tích phân gia tốc hoặc tính khoảng rời bằng tích phân tốc độ theo thời gian và chỉ cần đo một trong ba thông số trên ta có thể xác định được các thông số khác.

Đối với các chuyển động dao động cũng vậy, ví dụ đối với dao động điều hoà $x = A \sin \omega t$ suy ra tốc độ dao động $\dot{x} = \omega A \cos \omega t$ và gia tốc $\ddot{x} = -\omega^2 A \sin \omega t$.

Giá trị biên độ của di chuyển x , tốc độ \dot{x} và gia tốc \ddot{x} có thể tìm được bằng cách đo tần số ω và biên độ dao động A :

$$X = A; \quad \dot{X} = \omega A; \quad \ddot{X} = \omega^2 A$$

Ngược lại biên độ dao động có thể xác định được khi biết tần số ω theo các giá trị x , \dot{x} và \ddot{x} .

Trong thực tế thường gặp các dao động (độ rung) diễn ra với tần số rất cao vì vậy để tích phân hoặc vi phân các thông số đó người ta dùng các mạch điện vi phân và tích phân.

Ngoài việc đo các thông số chuyển động của vật thể rắn còn cần phải đo thông số chuyển động của các chất lỏng và khí như dầu, nước, hơi, và các thành phần hoá học khác. Những thông số đó là lưu tốc q và lưu lượng Q của chất lỏng và khí. Quan hệ giữa lưu lượng và lưu tốc cũng là quan hệ vi, tích phân. Biết lưu tốc q có thể tích phân nó để suy ra lưu lượng Q của chất đo trong thời gian xét và ngược lại lưu tốc q sẽ là đạo hàm của lưu lượng Q .

Các dụng cụ đo phổ biến: căn cứ vào đại lượng đo người ta đặt cho dụng cụ những tên khác nhau: dụng cụ đo tốc độ và khoảng rời gọi là máy đếm hoặc đồng hồ đo tốc độ, đo tốc độ quay của vật gọi là tốc độ kế, đo tốc độ dòng chảy gọi là lưu tốc kế, đo lưu lượng là lưu lượng kế. Dụng cụ đo thông số chấn động gọi là chấn động kế, đo gia tốc gọi là gia tốc kế...

Về khoảng đo: khoảng đo của phép đo thông số của chuyển động rất rộng có thể tới $D = 10^6$ và lớn hơn nhưng người ta thường chia thành những khoảng nhỏ.

Ví dụ: tốc độ chuyển động của các con tàu vũ trụ từ $8000 \div 12000 \text{ m/s}$, tốc độ của máy bay hiện đại từ $30 \div 1000 \text{ m/s}$. Tốc độ chuyển động của các phương tiện giao thông $10 - 60 \text{ m/s}$, tốc độ chuyển động của các thiết bị công nghiệp từ $10 \div 0,01 \text{ m/s}$ hoặc tốc độ rất thấp đến 10^{-7} m/s như độ lắng của quặng.

Khoảng đo của phép đo tốc độ quay: tốc độ quay của máy móc hiện đại cũng có khoảng đo rất rộng, từ vài phần trăm vòng phút đến $3 \cdot 10^5$ vòng/phút.

Khoảng đo của phép đo gia tốc: khoảng đo càng lớn từ 20.000 m/s^2 đến 10^{-5} m/s^2 .

Chọn phương pháp và dụng cụ nào là tùy thuộc vào yêu cầu cụ thể và những yêu cầu kỹ thuật.

Chọn dụng cụ đo tùy theo yêu cầu về độ chính xác: khi yêu cầu đo với độ chính xác không cao người ta dùng phương pháp biến đổi trực tiếp đại lượng đo thành sức điện động hay dòng điện, đo các thông số điện suy ra đại lượng đo.

Phương pháp có độ chính xác cao là phương pháp tần số, đó là phương pháp biến các thông số chuyển động thành tần số và đo tần số để suy ra đại lượng đo.

16.1.3. Các phương pháp đo lực, ứng suất và áp suất:

Trong quá trình nghiên cứu cơ lý tính của các vật chịu lực, các kết cấu cơ học đối với ngành chế tạo máy cũng như ngành khác thì quá trình đo lực, ứng suất và áp suất chiếm một khối lượng tương đối lớn.

Phạm vi đo: phạm vi đo lực rất rộng, từ những giá trị rất nhỏ đến những giá trị lớn, từ phép đo tĩnh (các lực tác động là những đại lượng không đổi) đến những xung lực tác dụng với tốc độ rất cao như sự va chạm, sóng xung kích... Do vậy phải chia thành nhiều dải đo khác nhau, tương ứng với mỗi dải đo có thể sử dụng các phương pháp và thiết bị phù hợp. Đặc biệt ở dải đo thấp 10^{-5} N trở xuống phải dùng các phương pháp đặc biệt để đảm bảo độ chính xác yêu cầu.

Đối với đo áp suất, dải đo thường từ $0 \div 10^{10}$ N/m², ngưỡng nhạy của thiết bị đo từ $0,1 \div 0,01$ N/m² và dải đo thực tế $D = 10^{11}$. Cũng như đo lực, không có các dụng cụ đo áp suất trong toàn khoảng đo, thường các dụng cụ được chia thành nhiều dải đo khác nhau với $D = 10^3 \div 10^4$. Đối với phép đo áp suất cao hoặc rất thấp thường dùng những phương pháp đo đặc biệt: ví dụ như khi đo áp suất thấp (độ chân không) người ta sử dụng phương pháp đo mật độ chất khí.

Đo ứng suất trong của các loại vật liệu thường nằm trong các khoảng đo $0 \div 150 \cdot 10^7$ N/m². Mục đích của phép đo này là có thể xác định sức bền của các chi tiết máy. Trong thực tế người ta chỉ quan tâm tới ứng suất từ 10^7 N/m² trở đi. Như vậy khoảng đo ứng suất $D = 150$ và có thể chế tạo loại dụng cụ đo ứng suất vạn năng để xác định sức bền của vật liệu.

Các phương pháp đo: để đo lực, ứng suất và áp suất có thể dùng các loại chuyển đổi khác nhau với các phương pháp khác nhau, thông thường có hai phương pháp đo:

- **Phương pháp đo trực tiếp:** là phương pháp sử dụng các chuyển đổi có đại lượng vào tương ứng với các lực, ứng suất, áp suất cần đo; đại lượng ra được biến thành các đại lượng điện, các thông số điện. Mạch đo và chỉ thị cho kết quả đo không thông qua hệ dẫn truyền trung gian.
- **Phương pháp đo gián tiếp:** thường sử dụng các phần tử đàn hồi, các hệ dẫn truyền, biến lực, ứng suất, áp suất thành di chuyển. Các chuyển đổi đo các đại lượng di chuyển từ đó suy ra các đại lượng cần đo.

Hai phương pháp trên được sử dụng rộng rãi, sử dụng phương pháp nào tùy thuộc yêu cầu và nhiệm vụ thực hiện chúng.

Đo lực, ứng suất và áp suất phần lớn có thể đưa về phép đo Δl hoặc $\Delta l/l$ vì:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E}$$

với: l - chiều dài của đối tượng đo; Δl - độ biến thiên theo chiều dài.
 σ - ứng suất cơ của vật liệu; E - môđun đàn hồi.

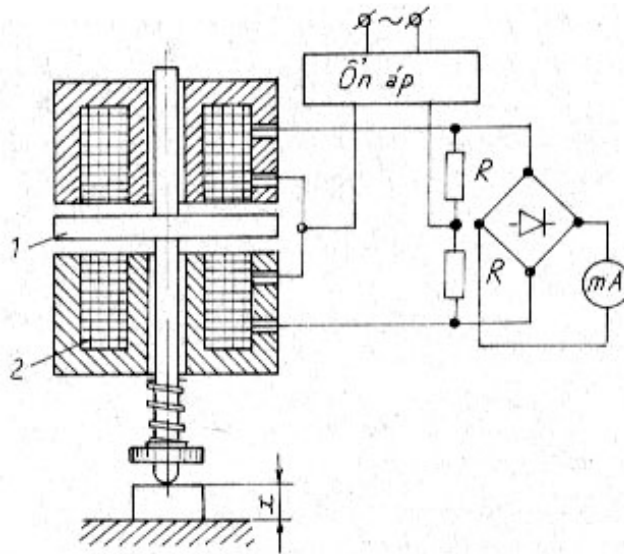
Mạch đo thường là mạch cầu, kết hợp với các tầng khuếch đại và chỉnh lưu. Chỉ thị là các dụng cụ chỉ thị cơ điện, tự ghi, điện tử và các dụng cụ số.

16.2. Đo góc quay, khoảng cách và di chuyển.

16.2.1. Đo kích thước và di chuyển thẳng:

Đo kích thước và di chuyển thẳng có nhiều phương pháp khác nhau, dưới đây là một số thiết bị đo dùng trong ngành chế tạo máy.

a) **Thiết bị đo kích thước và di chuyển nhỏ:** có cấu tạo như hình 16.1:



Hình 16.1. Cấu tạo của thiết bị đo kích thước và di chuyển nhỏ

Cấu tạo: chuyển đổi điện cảm mắc kiểu vi sai với hai điện trở R tạo thành mạch cầu bốn nhánh. Mạch cầu được cung cấp bằng nguồn điện áp xoay chiều ổn định.

Nguyên lý hoạt động: ở trạng thái bình thường khi lõi thép di động 1 nằm ở vị trí giữa của khe hở không khí thì mạch cầu cân bằng, điện áp ra trên đường chéo mạch cầu bằng không.

Khi có đối tượng cần đo với độ dày x tác động thì lõi thép 1 sẽ di chuyển khỏi vị trí giữa của khe hở không khí làm cho mạch cầu mất cân bằng và trên đường chéo mạch cầu xuất hiện một hiệu điện áp ΔU tỉ lệ với độ dày x . Điện áp này được đưa vào chỉnh lưu và chuyển thành thành dòng điện một chiều, sử dụng miliampemét đo dòng điện này từ đó suy ra giá trị của độ dày x . Thường để thuận tiện thì miliampemét được khắc độ trực tiếp theo kích thước.

Đặc điểm: thiết bị có giới hạn đo từ $0,03 \div 0,3$ mm và $0,02 \div 0,12$ mm. Đặc tính tĩnh trong giới hạn đo là tuyến tính. Độ chính xác cấp $1 \div 4$, độ nhạy có thể đạt tới $5 \mu A/\mu m$.

Do cấu tạo đơn giản, nguồn cung cấp xoay chiều tần số 50Hz nên thiết bị được sử dụng rộng rãi trong ngành chế tạo máy.

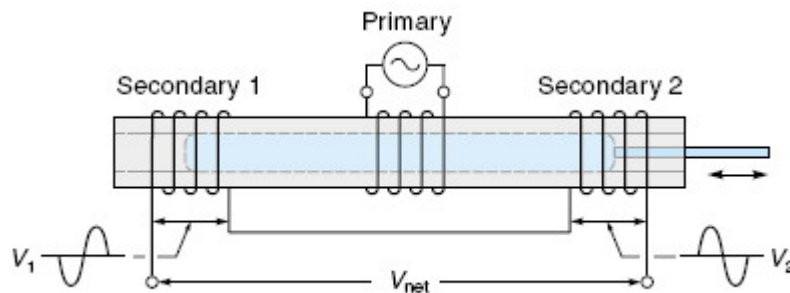
b) **Đo di chuyển thẳng bằng biến áp vi sai tuyến tính (Linear Variable Differential Transformer - LVDT):** có cấu tạo như hình 16.2: gồm có: cuộn sơ cấp (Primary) được nối với điện áp xoay chiều; hai cuộn thứ cấp (Secondary 1 và

Secondary 2) được bố trí đối xứng so với cuộn sơ cấp; nòng sắt từ di chuyển được.

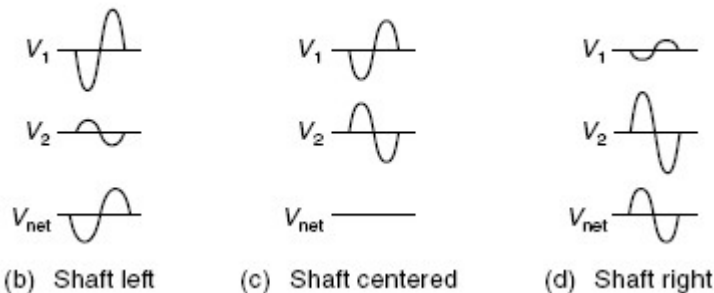
Nguyên lý hoạt động: sự dịch chuyển cần đo tác động lên nòng sắt từ, sự dịch chuyển của nòng sắt từ sẽ làm biến đổi độ ghép giữa cuộn sơ cấp và thứ cấp làm thay đổi điện áp ra xoay chiều trên hai cuộn thứ cấp, điện áp này sẽ tỉ lệ với độ dịch chuyển.

Hai cuộn thứ cấp được mắc xung đối sao cho suất điện động cảm ứng của chúng ngược pha nhau, điện áp ra V_{net} là:

$$V_{net} = V_1 + V_2$$

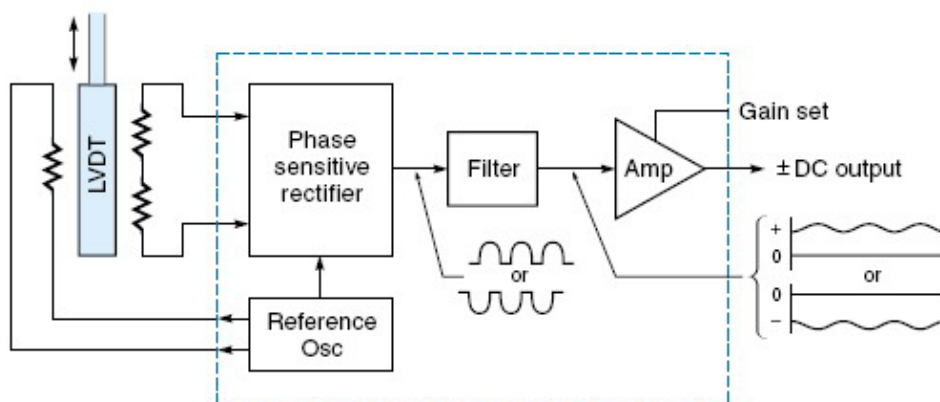


(a) LVDT with shaft centered



Hình 16.2. Cấu tạo của biến áp vi sai tuyến tính LVDT

Điện áp ra thường được biến đổi thành điện áp một chiều bằng mạch chỉnh lưu, sau đó qua mạch lọc và mạch khuếch đại như sơ đồ hình 16.3. Điện áp ra một chiều sẽ đưa đến cơ cấu chỉ thị hoặc các khâu khác:

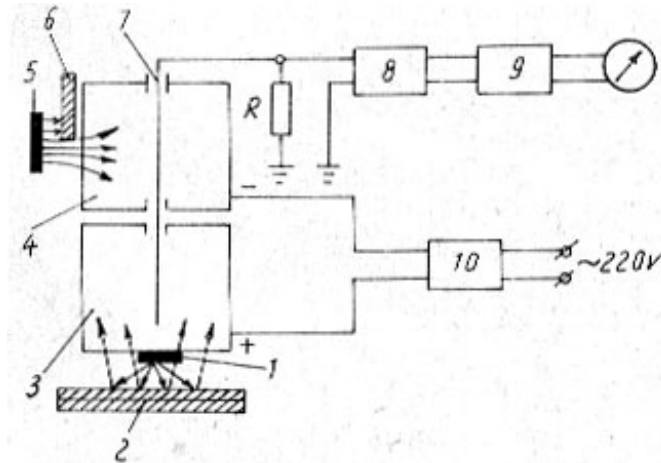


Hình 16.3. Xử lý tín hiệu điện áp ra của LVDT

b) Thiết bị đo chiều dày của lớp phủ các chi tiết dùng chuyển đổi iôn: có cấu tạo như hình 16.4.

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: tia bức xạ lấy từ nguồn 1 (chất Tali 204), tia

này chiếu vào chi tiết cần đo có chiều dày lớp phủ 2. Khi tia bức xạ chiếu lên bề mặt chi tiết thì sẽ bị phản xạ lại, tia phản xạ được thu vào bình iôn hoá 3 tạo thành các dòng iôn. Bình iôn hoá 4 được cung cấp bằng nguồn iôn hoá 5 (chất Ta li 204) nhưng có độ hoạt động yếu hơn dùng để cân bằng dòng iôn hoá ban đầu. Tia bức xạ 5 được điều chỉnh nhờ tấm chắn 6. Điện áp cung cấp đặt lên vỏ bình iôn hoá 3 và 4 có dấu ngược nhau do đó dòng iôn hoá chạy qua điện cực chung 7 và qua điện trở R là hiệu của hai dòng iôn trong bình 3 và 4.



Hình 16.4. Thiết bị đo chiều dày của lớp phủ các chi tiết dùng chuyển đổi iôn

Để chỉnh không ban đầu (khi chi tiết chưa có lớp phủ), tấm chắn 6 được di chuyển sao cho độ lớn của hai dòng iôn hoá trong bình 3 và 4 bằng nhau về môđun nhưng ngược nhau về dấu, do đó dòng điện ra bằng không.

Khi chi tiết đo có lớp phủ, độ phản xạ của tia bức xạ vào bình 3 thay đổi làm cho dòng iôn hoá thay đổi và hiệu độ lớn của hai dòng điện khác không. Điện áp rơi trên điện trở R tỷ lệ với độ dày lớp phủ trên chi tiết. Do tín hiệu ra rất nhỏ, nên được khuếch đại bằng bộ khuếch đại điện lượng 8 sau đó đưa vào khuếch đại một chiều 9 và đưa ra chỉ thị.

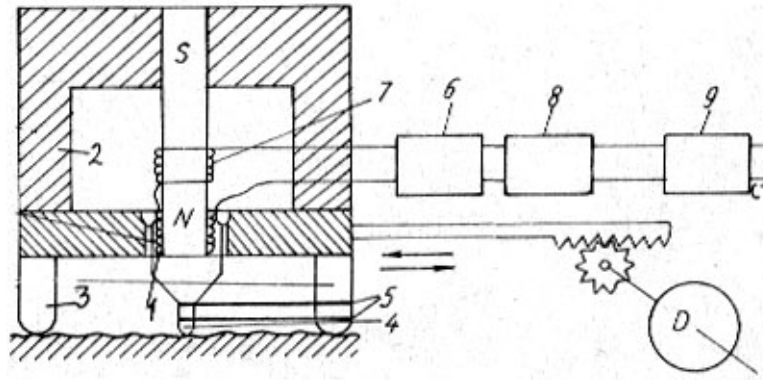
Để cung cấp điện áp thật ổn định cho bình iôn hoá và các tầng khuếch đại, nguồn cung cấp 10 có hệ số ổn định rất cao. Sai số đo khi khắc độ theo mẫu cho trước đạt tới $\pm 2\%$.

c) Thiết bị đo kích thước rất nhỏ: để đo kích thước rất nhỏ như độ bóng bề mặt các chi tiết gia công ($\nabla 7 \div \nabla 14$) có thể sử dụng thiết bị đo độ bóng như loại KB-7 có sơ đồ cấu tạo như hình 16.5:

Cấu tạo: cuộn dây cảm ứng 1 được đặt ở giữa khe hở nam châm vĩnh cửu 2 có thể di chuyển dọc trục mạch từ. Cuộn dây được gắn vào kim 4 và lò xo 5. Toàn bộ chuyển đổi đặt lên chi tiết cần đo độ bóng bằng chân 3 có đường kính lớn.

Nguyên lý hoạt động: khi bánh răng và động cơ D quay, chuyển đổi di chuyển tịnh tiến trên bề mặt chi tiết với tốc độ $10 \div 20$ m/s. Khi di chuyển, do độ nhấp nhô của bề mặt chi tiết nên cuộn dây 1 gắn kim nhọn cũng bị di động và cảm ứng ra sức điện động tỷ lệ với độ nhấp nhô của chi tiết. Với độ nhấp nhô nhỏ ($\nabla 14$) thì sức điện động cảm ứng rất nhỏ do đó tín hiệu ra được đưa qua khuếch đại 6 có hệ số khuếch đại lớn và chia thành nhiều giới hạn đo khác nhau, sau đó qua bộ

tích phân 8, qua khuếch đại 9 và đưa vào chỉ thị (CT). Chỉ thị được khắc độ theo giá trị trung bình của biên độ dao động do độ nhấp nhô bề mặt và xác định độ bóng của chi tiết gia công.



Hình 16.5. Thiết bị đo kích thước rất nhỏ: thiết bị đo độ bóng

Đặc điểm: ngưỡng nhạy và độ chính xác của thiết bị bị hạn chế do nhiễu gây nên khi từ trường của nam châm vĩnh cửu cũng như từ trường và nhiệt độ bên ngoài thay đổi. Hiện tượng này được khắc phục bằng cách quấn thêm cuộn dây bù 7 cố định trên nam châm, khi từ trường trong cuộn dây đo và cuộn bù thay đổi do các yếu tố bên ngoài gây nên, chúng được bù lẫn nhau. Mặt khác sức điện động trong cuộn dây cảm ứng 1 không chỉ phụ thuộc vào sự di chuyển của nó mà còn phụ thuộc vào tốc độ kéo của động cơ.

Sai số của thiết bị phụ thuộc vào giới hạn đo và độ nhạy của nó. Sai số cơ bản của thiết bị là $\pm 10\%$.

d) Đo di chuyển bằng thước mã hóa: đây là phương pháp đo di chuyển đạt được độ chính xác cao. Di chuyển cơ học được truyền qua một thước di động, thước này có thể là một thước trong suốt trên nó được khắc vạch chia độ đen, trắng. Các vạch trắng cho ánh sáng xuyên qua hoặc phản xạ trở lại. Một hệ thống quang học chiếu ánh sáng qua thước khắc vạch. Khi thước di chuyển, các tia ánh sáng qua vạch trắng, đen đến tế bào quang điện và tạo thành các xung điện. Các xung điện được đưa qua bộ đếm đến chỉ thị để chỉ mức di chuyển, ta có:

$$D_x = N_x \cdot d_0$$

với: D_x - khoảng di chuyển của thước.

N_x - số xung đếm được

d_0 - giá trị của một vạch đo.

Hiện nay bằng phương pháp khắc vạch người ta có thể chia được tới 2000 vạch trên một milimét dài.

Ngoài phương pháp khắc vạch trên người ta còn sử dụng thước mã hoá. Thước mã hoá là một thước gồm nhiều dải khắc vạch quan hệ với nhau theo một mã nhất định, thông thường là mã nhị phân. Khi ánh sáng đi qua là 1, ánh sáng bị ngăn lại là 0. Tùy theo con số cần đếm ta xác định số phần tử đếm và số dòng trên thước mã hoá. Mỗi bước của thang đo làm thay đổi trạng thái của một hoặc nhiều phần tử của bộ khoá, sau khi giải mã kết quả được thể hiện bằng các con số. Đây là cơ sở của phép đo di chuyển bằng các thiết bị số.

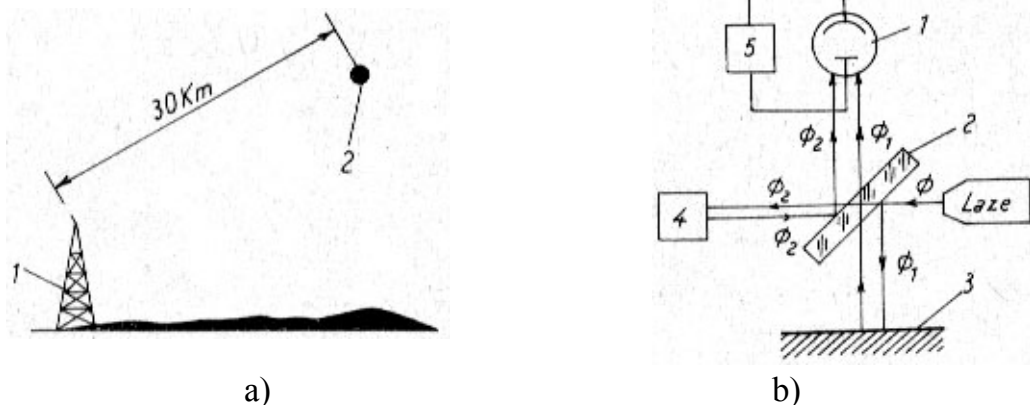
16.2.2. Đo khoảng cách:

Đo khoảng cách có nhiều phương pháp khác nhau, thông dụng nhất là phương pháp đếm số vòng của một bánh xe, sau đó kết hợp với kích thước bánh xe để suy ra quãng đường. Phương pháp này thường dùng cho các loại xe ô tô và mô tô.

Ngày nay các phương pháp hiện đại hơn có thể biến đổi tốc độ quay của bánh xe thành tần số của một dây xung, thiết bị đếm sẽ đếm số xung và đưa kết quả quãng đường tương ứng lên một bảng số hoặc đưa đến thiết bị điều khiển.

Tốc độ và quãng đường đi của một tên lửa lúc rời bệ phóng có thể được xác định bằng cách ứng dụng hiệu ứng Dopple. Hiệu ứng này cho biết khi hai vật tiến gần nhau, tần số sẽ thay đổi, nhờ đó có thể suy ra tốc độ của tên lửa do sự thay đổi tần số của bộ phát sóng đặt ở đầu tên lửa qua đó có thể điều khiển được tốc độ và tính được quãng đường đi của tên lửa.

Phương pháp vô tuyến định vị tia laze đo khoảng cách lớn: phương pháp đo khoảng cách lớn (hàng triệu kilômét) ngày nay được sử dụng nhiều là phương pháp vô tuyến định vị tia laze (H.16.6a,b):



Hình 16.6. Đo khoảng cách lớn bằng phương pháp vô tuyến định vị tia laze:

a) Sơ đồ tổng quan quá trình đo

b) Sơ đồ nguyên lý của thiết bị đo

Bộ phát công suất lớn 1 phát xung ngắn (cỡ micrô giây) hoặc tia laze hướng về phía đối tượng cần đo khoảng cách 2. Sau khi gặp đối tượng, sóng hoặc tia laze phản xạ lại và được thu bằng thiết bị thu độ nhạy cao. Đo khoảng thời gian từ lúc phát đến lúc thu tín hiệu phản xạ có thể tính được khoảng cách của đối tượng cần đo:

$$D = \frac{t.c}{2}$$

với: t - thời gian tính từ khi phát đến lúc thu tín hiệu.

c - tốc độ truyền của sóng vô tuyến và laze.

D - khoảng cách cần đo.

Ví dụ: để đo khoảng cách giữa hai vật thể bằng thiết bị đo laze ГД-314 với độ xa 2000m có thể đạt sai số ± 2 cm.

Sơ đồ nguyên lý của thiết bị đo khoảng cách và di chuyển bằng tia laze như hình 16.6b:

Nguyên lý hoạt động: nguồn laze bức xạ thành dòng ánh sáng Φ được phân thành hai tia Φ_1 và Φ_2 nhờ gương lệch 2. Tia Φ_1 phản xạ từ gương 2 qua gương 3 chiếu vào phần tử quang điện 1. Tia Φ_2 cũng đi qua gương 2 đến đối tượng cần

đo 4 và được phản xạ lại qua gương 2 đến phần tử quang điện 1. Tại phần tử quang điện, hai tia Φ_1 và Φ_2 được xếp chồng. Khi đối tượng đo di chuyển, tổng cường độ sáng của hai tia laser cũng thay đổi. Nhờ thiết bị đếm 5 có thể tính được khoảng di chuyển của đối tượng đo 4. Nếu gọi L_x là khoảng di chuyển của đối tượng đo, k là số chu kỳ tính của tia laser và λ là độ dài ánh sáng ta có quan hệ:

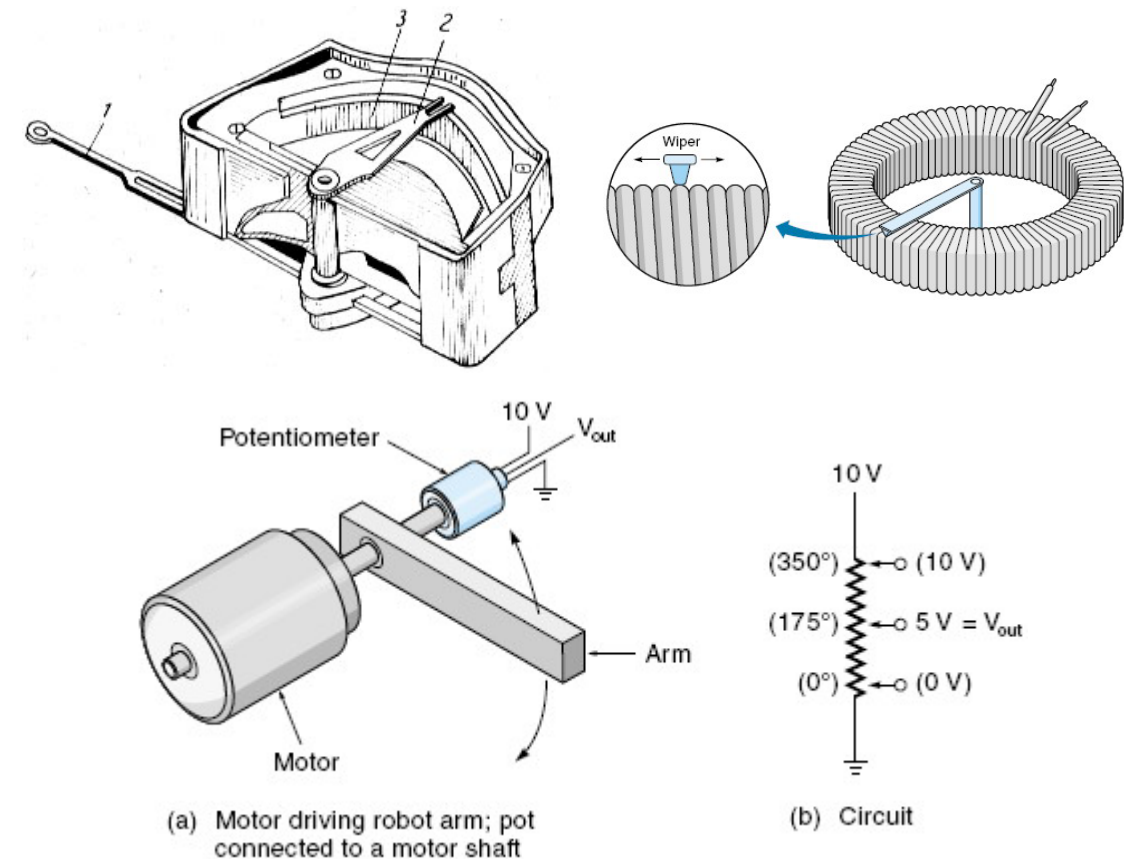
$$L_x = k \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Với thiết bị trên, khi đo khoảng di chuyển cỡ 1m thì sai số từ 0,1÷1μm.

16.2.3. Đo góc quay:

a) Thiết bị đo góc dựa trên các chuyển đổi biến trở (Angle Potentionmeter): có ưu điểm là độ chính xác cao (sai số chỉ cỡ 0,05÷0,03%); công suất ra lớn, không cần khuếch đại tín hiệu; cấu tạo của thiết bị đơn giản.

Hình 16.7 là chuyển đổi biến trở loại MY-62 được chế tạo hàng loạt trong công nghiệp dùng đo góc quay:



Hình 16.7. Chuyển đổi biến trở đo góc quay loại MY-62

Nguyên lý hoạt động: di chuyển góc cần đo qua tay gạt 1 tác động lên con trượt 2 làm con trượt di chuyển trên biến trở 3, giá trị của biến trở 3 tỉ lệ với góc quay cần đo.

Đặc điểm: điện trở của biến trở khoảng 250Ω, góc quay toàn phần là 60°. Sai số cơ bản không quá ±0,3°.

Ngoài chuyển đổi biến trở còn có thể dùng các chuyển đổi điện cảm, điện dung phối hợp với các mạch điện tử để đo góc quay.

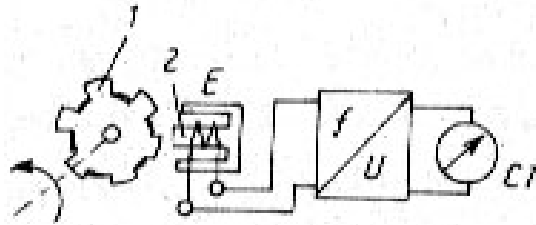
b) Thiết bị đo góc quay bằng chuyển đổi cảm ứng: có sơ đồ nguyên lý như hình 16.8.

Nguyên lý hoạt động: khi đĩa xẻ rãnh 1 quay đi một góc α (tương ứng với n rãnh) sẽ làm cho từ thông móc vòng trong cuộn dây cảm ứng 2 thay đổi tạo ra một sức điện động cảm ứng, suất điện động này được tính bằng:

$$E_c = -W \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

với: W : số vòng của cuộn dây cảm ứng 2

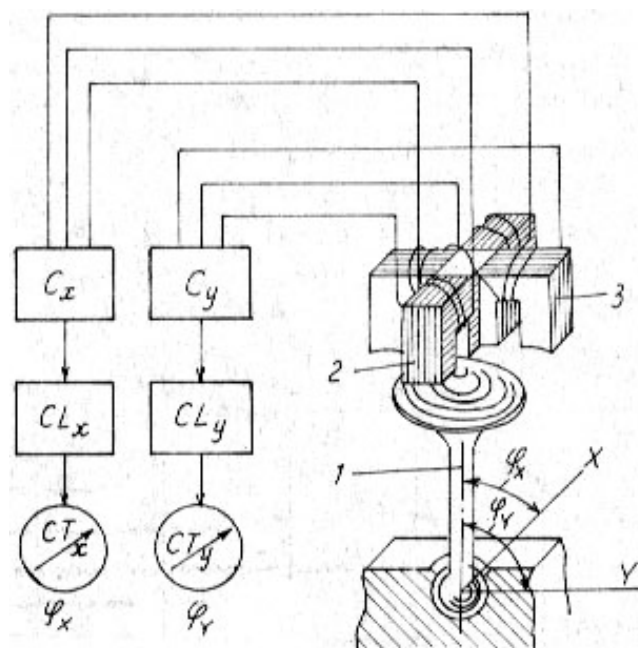
Φ : từ thông móc vòng trong cuộn dây cảm ứng 2



Hình 16.8. Sơ đồ nguyên lý của thiết bị đo góc quay bằng chuyển đổi cảm ứng

Tần số của suất điện động tỷ lệ với số rãnh quay của đĩa n . Tần số này qua bộ biến đổi tần số sang điện áp $[f/U]$ sẽ chuyển thành tín hiệu điện áp để đưa vào chỉ thị (CT). Chỉ thị được khắc độ theo góc quay.

c) Thiết bị dùng chuyển đổi điện cảm đo góc quay trong không gian hai chiều: có sơ đồ nguyên lý như hình 16.9:

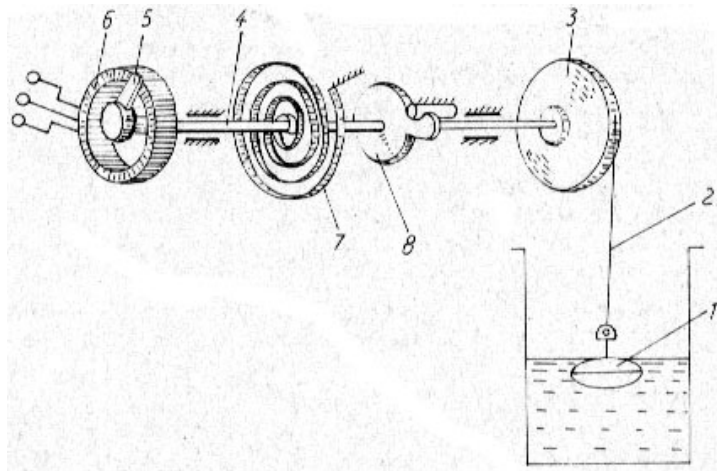


Hình 16.9. Sơ đồ nguyên lý của thiết bị dùng chuyển đổi điện cảm đo góc quay trong không gian hai chiều

Nguyên lý hoạt động: lõi thép phản ứng 1 có hai bậc tự do, di chuyển được theo trục Y và trục X. Hai chuyển đổi điện cảm mắc vi sai 2 và 3 nối với hai mạch cầu không cân bằng C_x, C_y có nguồn cung cấp là điện áp xoay chiều tần số 500Hz. Tín hiệu ra của mạch cầu đưa vào chỉnh lưu nhạy pha (CL_x, CL_y) và đưa đến chỉ thị (CT_x, CT_y) để chỉ góc quay φ_x, φ_y . Giới hạn đo của thiết bị là $2,5^\circ$ và ngưỡng nhảy $0,5'$.

16.2.4. Đo mức:

a) Phương pháp đo mức nước dùng các bộ biến đổi tỉ lệ ở dạng dẫn truyền bằng tay gạt hoặc dây curoa kết hợp với chuyển đổi biến trở: là phương pháp đo mức nước đơn giản. Hình 16.10 là cấu tạo của thiết bị đo mức nước được sản xuất hàng loạt dùng trong công nghiệp:



Hình 16.10. Cấu tạo của thiết bị đo mức nước dùng các bộ biến đổi tỉ lệ ở dạng dẫn truyền bằng tay gạt hoặc dây curoa kết hợp với chuyển đổi biến trở

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: phao nổi 1 phản ánh mức nước cần đo được nối với sợi dây 2 gắn vào puli 3. Khi puli quay, trục 4 gắn với con trượt 5 quay theo và trượt trên biến trở 6 làm thay đổi điện trở của biến trở tỉ lệ với mức nước cần đo. Đầu dây ra của biến trở được mắc vào mạch đo.

Khi thiết kế, đường kính của puli được tính sao cho chu vi của nó có độ dài đúng bằng khoảng cách mức nước cần đo.

Để giữ cho dây treo phao luôn được căng người ta gắn thêm lò xo xoắn 7 và cơ cấu cam 8 để puli chỉ có thể quay được một vòng.

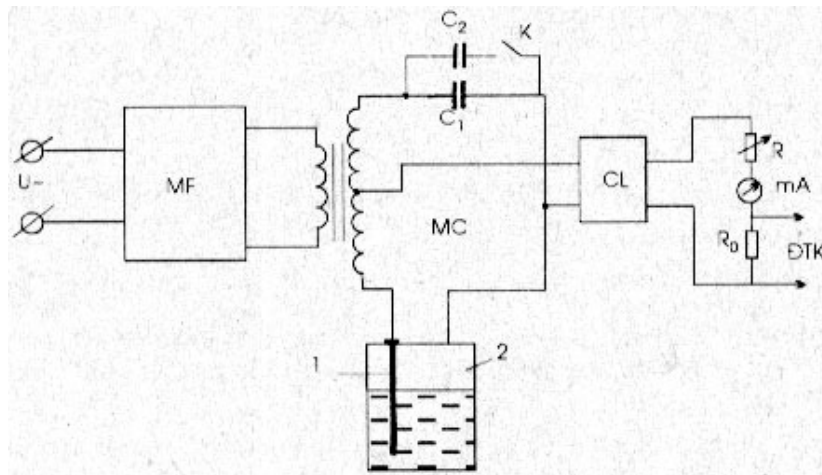
Đặc điểm: với thiết bị này có thể đo được khoảng thay đổi từ vài chục centimet đến vài mét với sai số cơ bản là $\pm 0,5\%$ trong giới hạn thang đo.

b) Thiết bị đo mức nước dùng chuyển đổi điện dung: cũng được sử dụng rộng rãi. Có sơ đồ cấu tạo như hình 16.11:

Nguyên lý hoạt động: chuyển đổi điện dung được mắc vào một nhánh cầu không cân bằng MC, nhánh thứ hai gồm tụ điện C_1 (có điện dung cỡ vài pF) và một tụ điện khác C_2 mắc song song (có điện dung cỡ vài chục pF) thông qua khoá K. Hai nhánh khác của mạch cầu là cuộn dây thứ cấp của máy biến áp BA. Cầu được cung cấp bằng một máy phát điện áp cao tần MF ($1 \div 10\text{MHz}$). Điện áp ra của cầu được chỉnh lưu qua bộ chỉnh lưu CL.

Điều chỉnh cho kim chỉ thị có giá trị cực đại bằng cách đóng khoá K và điều chỉnh giá trị của biến trở R. Chỉ thị là một miliampemét (hoặc điện thế kế tự động).

Đặc điểm: phương pháp này có ưu điểm là đạt được độ tuyến tính trong khoảng đo lớn. Khoảng đo từ $0 \div 5\text{m}$. Thiết bị có thể đo được mức nước ở nhiệt độ $\pm 100^\circ\text{C}$ và áp suất của bình từ $0 \div 10^6 \text{N/m}^2$. Sai số của thiết bị cỡ $\pm 2,5\%$. Sai số phụ 1% khi nhiệt độ thay đổi 10°C .



Hình 16.11. Sơ đồ cấu tạo của thiết bị đo mức nước dùng chuyển đổi điện dung

Thiết bị này thường được ứng dụng để đo mức nước của các chất lỏng dễ bay hơi, dễ nổ và ăn mòn. Khi đó chuyển đổi điện dung 1 là thanh kim loại mỏng phủ lớp chống ăn mòn hoá học đặt giữa thùng kim loại đựng chất lỏng 2. Khi thùng rỗng, điện dung của thùng thấp, lúc đầy chất lỏng điện dung tăng lên.

16.3. Đo vận tốc, gia tốc và độ rung.

16.3.1. Đo vận tốc bằng máy phát tốc độ (Tachometer Generator):

Tốc độ kế thường dùng nhất là máy phát tốc độ. Máy phát tốc độ có thể chia thành hai loại, máy phát một chiều và máy phát xoay chiều.

Máy phát tốc độ một chiều (DC tachometer generator): là máy phát điện có sức điện động ra tỉ lệ với tốc độ. Trục quay của máy phát được nối với trục quay của đối tượng đo. Khi đối tượng đo quay, máy phát quay tạo ra sức điện động tỉ lệ với tốc độ quay. Đo sức điện động bằng các dụng cụ đo điện áp có thể suy ra tốc độ.

Máy phát tốc độ xoay chiều (AC tachometer generator): có quan hệ giữa sức điện động và tốc độ quay cũng như máy phát tốc độ một chiều, nhưng điện áp ra là điện áp xoay chiều có tần số tỉ lệ với tốc độ quay:

$$f = \frac{a.n}{60}$$

với: a - số đôi cực của máy phát; n - tốc độ quay; f - tần số ra

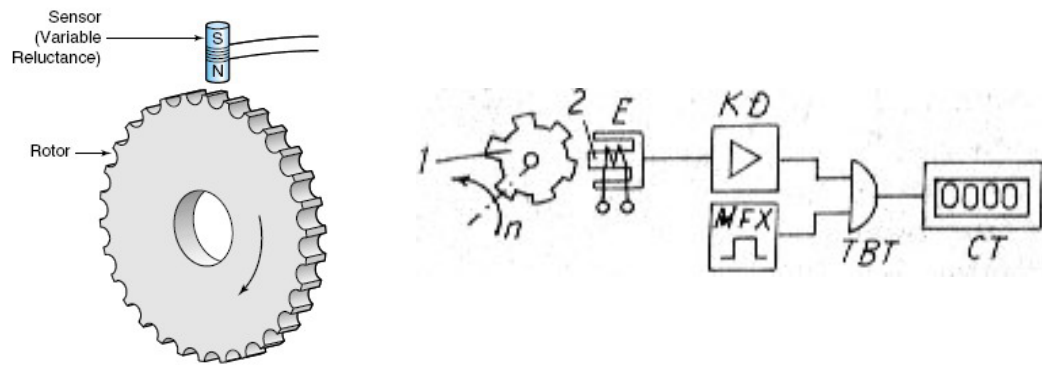
Đo điện áp U hoặc tần số f có thể xác định được tốc độ đối với các máy phát tốc độ xoay chiều, các chỉ thị kèm theo thường là tần số kế vì đo tần số, sai số nhỏ hơn và không bị phụ thuộc vào cấu tạo của máy phát mà chỉ phụ thuộc vào cách bố trí số lượng cực.

16.3.2. Đo tốc độ quay bằng phương pháp biến tốc độ quay thành tần số (Encoder):

Ngoài các máy phát tốc, ngày nay đo tốc độ quay bằng phương pháp biến tốc độ quay thành tần số được sử dụng khá rộng rãi. Quá trình biến đổi tốc độ quay thành tần số có thể thực hiện bằng nhiều cách: bằng mạch từ, bằng quang học ...

Thiết bị đo tốc độ quay bằng cách biến tốc độ quay thành tần số bằng mạch từ: hình 16.12 là sơ đồ của thiết bị đo tốc độ quay bằng cách biến tốc độ quay thành tần số bằng mạch từ:

Cấu tạo: bộ biến đổi tốc độ - tần số bao gồm: bánh răng 1, cuộn dây cảm ứng không tiếp xúc 2 (hoặc cuộn dây điện cảm). Đó là các phần tử nhạy và thường có số răng $p = 1, 6, 60, 180, 200, 250$ và 600 để có tần số xung nhỏ nhất là 10Hz .



Hình 16.12. Sơ đồ của thiết bị đo tốc độ quay bằng cách biến tốc độ quay thành tần số

Nguyên lý hoạt động: khi bánh răng quay, phần tử nhạy tạo thành các xung. Tần số lớn nhất có thể nhận được khi đo:

$$f_{\max} = \frac{p \cdot n_{\max}}{60} (\text{Hz})$$

với: n_{\max} - tốc độ quay lớn nhất;

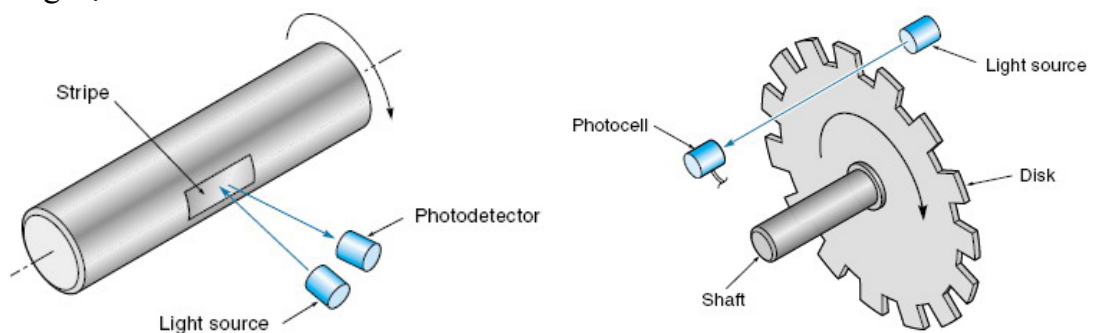
và số răng không nhỏ hơn $p_{\min} = 600/n_{\min}$ với n_{\min} là tốc độ quay nhỏ nhất.

Với sơ đồ trên hình 16.10: nếu $p = 60$, thời gian đo là 1 giây thì thiết bị có thể chỉ trực tiếp tần số quay.

Chỉ thị là dụng cụ số, trong đó xung tần số từ phần tử nhạy được đưa qua bộ khuếch đại vào thiết bị tính và đưa ra chỉ thị số.

Đặc điểm: sai số của bộ đếm có thể đạt được ± 1 .

Thiết bị đo tốc độ quay bằng cách biến tốc độ quay thành tần số bằng quang học: bộ biến đổi tốc độ - tần số có thể được thực hiện bằng các thiết bị quang học như hình 16.13:



Hình 16.13. Bộ biến đổi tốc độ - tần số bằng quang học

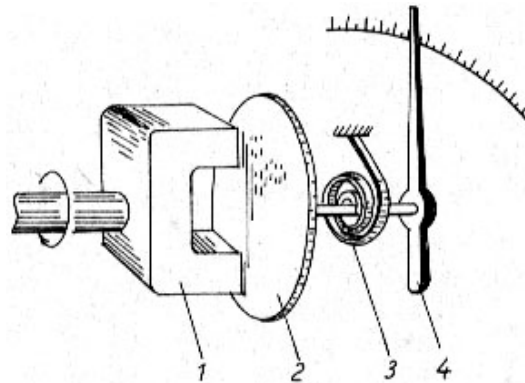
16.3.3. Thiết bị đo tốc độ quay dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ:

Ngoài các thiết bị trên, để đo tốc độ chuyển động của ô tô có thể thực hiện theo sơ đồ hình 16.14:

Trong đó chuyển đổi bao gồm nam châm vĩnh cửu 1 nối với trục quay của động cơ qua bộ dẫn động bằng dây mềm.

Trước nam châm là đĩa nhôm 2 có trục gắn với kim chỉ tốc độ 4 và lò xo cản

3. Khi nam châm quay tạo ra từ trường quay, từ trường này cảm ứng lên đĩa nhôm dòng cảm ứng đồng thời tác dụng lên dòng điện ấy một lực tạo ra mômen quay lên đĩa nhôm. Tùy theo tốc độ quay của động cơ, đĩa nhôm bị quay theo, kim chỉ cho ta biết được tốc độ đó.



Hình 16.14. Sơ đồ thiết bị đo tốc độ quay dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ

16.3.4. Đo gia tốc (acceleration) và độ rung (chấn động-vibration):

Cấu trúc chung của dụng cụ đo này gồm một khối quán tính gắn với một hệ lò xo. Do quán tính lớn nên giữa khối quán tính và đế của dụng cụ có sự di chuyển tương đối với nhau khi có rung. Ngoài ra từ phép đo di chuyển có thể suy ra biên độ rung hay gia tốc.

Các chuyển đổi dùng trong dụng cụ đo gia tốc hay độ rung là các chuyển đổi điện trở, điện cảm, điện dung, áp điện... Vấn đề là chọn quán tính và chuyển đổi như thế nào để khi đo không gây ra các sai số phụ về tần số.

Quan hệ giữa tần số cộng hưởng của hệ thống cơ và dải tần cần đo của dụng cụ thường tỉ lệ nghịch nhau. Thông thường tần số của chuyển đổi trong dụng cụ đo chấn động phải thấp hơn một số lần giới hạn dưới của dải tần cần đo. Đối với dụng cụ đo gia tốc thì ngược lại tần số của chuyển đổi phải lớn hơn một số lần giới hạn trên của dải tần cần đo.

Dải tần đo các thông số rung trong khoảng $20 \div 3000\text{Hz}$ vì vậy tần số của hệ thống cơ trong dụng cụ đo độ rung nằm trong khoảng $2 \div 7\text{Hz}$, còn đối với gia tốc kể từ $10 \div 15\text{kHz}$ và lớn hơn.

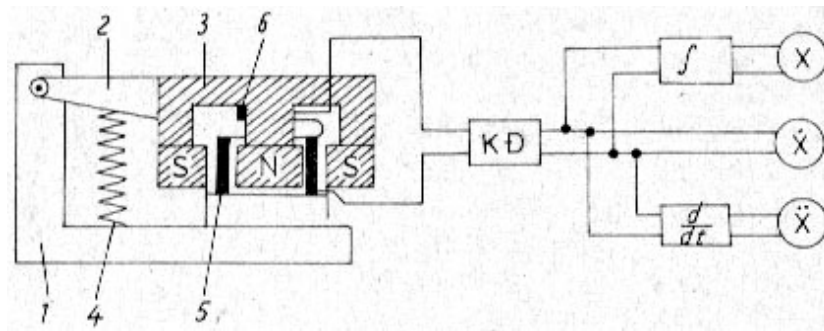
a) Chấn động kế kiểu cảm ứng: dựa trên quan hệ vi tích phân giữa các thông số của chuyển đổi rung, ta có thể chế tạo được các thiết bị phối hợp giữa chuyển đổi với các mạch vi tích phân và chỉ thị để đo độ rung (chấn động) và gia tốc.

Cấu tạo: như hình 16.15: gồm một giá đỡ bằng kim loại không dẫn từ 1 để đặt trên đối tượng đo. Trên giá đỡ có thanh dao động 2 và nam châm 3. Thanh dao động, nam châm và lò xo 4 tạo thành khối quán tính.

Nguyên lý hoạt động: bình thường, dưới tác dụng của trọng lượng, khối quán tính và lực đẩy của lò xo ở trạng thái cân bằng, cuộn dây cảm ứng 5 đặt giữa khe hở không khí của nam châm đứng yên. Khi có độ rung (chấn động), nam châm và cuộn dây cảm ứng di chuyển tương đối với nhau làm cho từ thông móc vòng qua cuộn dây thay đổi, tạo ra sức điện động cảm ứng. Sức điện động sinh ra tỉ lệ với biên độ rung được đưa vào khuếch đại sau đó đưa ra chỉ thị.

Cuộn dây bù 6 có tác dụng khử sức điện động do nhiễu sinh ra trong cuộn dây 5.

Nhờ bộ vi phân 6 và tích phân 7, thiết bị có thể đo được độ rung với biên độ x , tốc độ rung \dot{x} và gia tốc \ddot{x} .



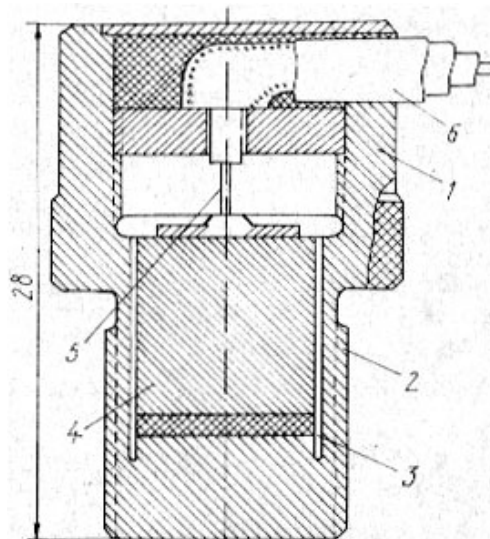
Hình 16.15. Cấu tạo của chấn động kế kiểu cảm ứng

Để ghi lại và theo dõi quá trình có thể dùng chỉ thị tự ghi hoặc dao động kí.

Đặc điểm: chấn động kế loại này làm việc với tần số loại này từ $20 \div 500\text{Hz}$.

b) Đo độ rung bằng chuyển đổi áp điện: khi cần đo độ rung với tần số cao hơn (từ $10 \div 20\text{kHz}$) có thể sử dụng chuyển đổi áp điện.

Cấu tạo: hình 16.16 là sơ đồ cấu trúc của thiết bị đo độ rung với chuyển đổi áp điện:



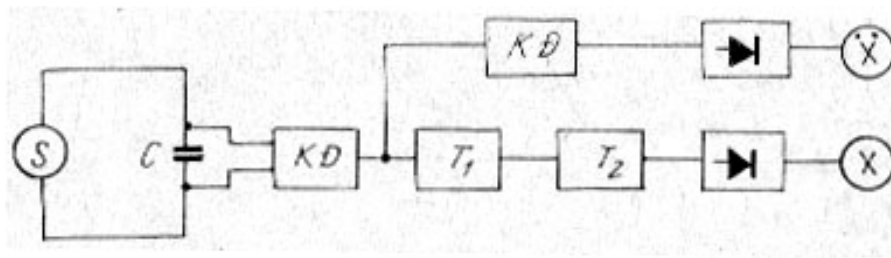
Hình 16.16. Sơ đồ cấu trúc của thiết bị đo độ rung bằng chuyển đổi áp điện

Vỏ 1 của chuyển đổi được tạo thành ren 2 để bắt chặt vào đối tượng đo. Dưới đáy vỏ là phần tử áp điện 3 được gắn chặt bằng nhựa dán. Phần tử áp điện có thể là tinh thể thạch anh, titanat bari (BaTiO_3). Mặt trên của phần tử áp điện là khối quán tính 4. Khối quán tính làm bằng hợp kim vonfram có trọng lượng gấp 2 đến 3 lần thép, do đó có thể tạo thành một khối dao động vững chắc.

Tần số riêng của chuyển đổi phụ thuộc vào khối lượng, độ chắc chắn của đáy vỏ, trọng lượng của khối quán tính và có thể đạt đến $50 \div 100\text{kHz}$. Thiết bị có thể làm việc được trong dải tần từ $500\text{Hz} \div 20\text{kHz}$.

Nguyên lý hoạt động: khi làm việc phần tử áp điện chịu lực tỉ lệ với gia tốc, các điện tích do phần tử áp điện tạo ra tỉ lệ với giá trị tức thời của gia tốc. Các điện tích này được dẫn ra bằng cáp bọc kim loại 6, lõi 5 của dây cáp được nối với quán tính 4, cách điện với vỏ ngoài và vỏ dây cáp lại được nối với vỏ ngoài đó.

Sơ đồ khối của dụng cụ vạn năng dùng chuyển đổi áp điện đo biên độ rung, đo gia tốc trung bình như hình 16.17:



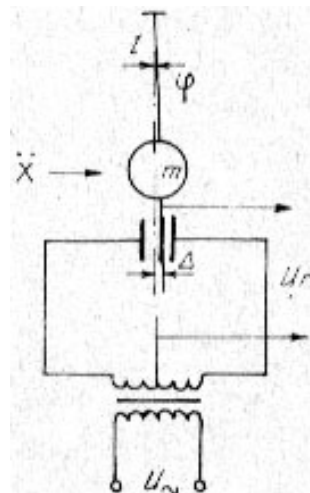
Hình 16.17. Sơ đồ khối của dụng cụ vạn năng dùng chuyển đổi áp điện đo biên độ rung và đo gia tốc trung bình

Chuyển đổi áp điện được nối song song với tụ C để nhận được điện áp xoay chiều tỉ lệ với gia tốc nhưng không phụ thuộc vào tần số rung. Trở kháng $X_c = 1/\omega C$ đối với dải tần làm việc cần phải được chọn sao cho đạt trở vào nhỏ nhất ở đầu vào của khuếch đại sơ bộ (KĐ) để hạn chế giới hạn dưới của dải tần làm việc.

Điện áp sau khi qua khuếch đại sơ bộ được đưa vào hai kênh song song. Một kênh gồm có mạch khuếch đại, chỉnh lưu và chỉ thị chỉ gia tốc \ddot{x} . Kênh còn lại là hai bộ tích phân T_1 và T_2 mắc nối tiếp với nhau nối với chỉnh lưu và chỉ thị chỉ biên độ rung x .

Đặc điểm: các thiết bị trên dải tần làm việc từ $20\text{Hz} \div 10\text{kHz}$, sai số quy đổi $\pm 5\%$. Thiết bị có 4 giới hạn đo gia tốc 20, 100, 400 và 2000m/s^2 , bốn giới hạn đo độ rung 0,05; 0,25; 1,0; 5,0 mm.

c) Đo gia tốc không thay đổi sử dụng gia tốc kiểu con lắc: hình 16.18 là sơ đồ nguyên lý của gia tốc kiểu con lắc với chuyển đổi điện dung:



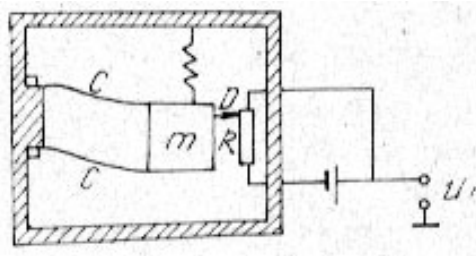
Hình 16.18. Sơ đồ nguyên lý của gia tốc kiểu con lắc với chuyển đổi điện dung

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: dưới tác dụng của gia tốc, con lắc có chiều dài l và khối quán tính m bị lệch đi một góc φ và bản cực nằm giữa của chuyển đổi điện dung mắc vì sai bị di chuyển một khoảng Δ . Điện áp ra của mạch cầu (gồm hai nửa cuộn dây thứ cấp biến áp và chuyển đổi điện dung) tỉ lệ với gia tốc cần đo.

Đặc điểm: gia tốc kế con lắc dùng đo gia tốc nhỏ hơn $0,1g$ (g - gia tốc trọng

trường). Với gia tốc lớn hơn tương ứng với góc lệch φ quá lớn sẽ gây sai số do độ phi tuyến.

d) Đo gia tốc không thay đổi sử dụng gia tốc kiểu lò xo: hình 16.19 là sơ đồ nguyên lý của gia tốc kiểu lò xo với chuyển đổi biến trở:



Hình 16.19. Sơ đồ nguyên lý của gia tốc kiểu lò xo với chuyển đổi biến trở

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: khối quán tính m được gắn vào lò xo đàn hồi C . Khi có gia tốc theo hướng thẳng đứng, dưới tác dụng của lực quán tính $F = m\ddot{x}$ con trượt D gắn với khối quán tính sẽ di chuyển trên biến trở R . Điện áp ra tỉ lệ với gia tốc cần đo.

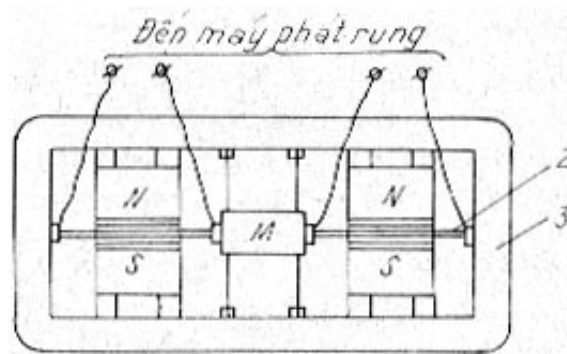
Đặc điểm: giới hạn của thiết bị phụ thuộc vào khối quán tính và lò xo, nó có thể đo được gia tốc từ $0,1 \div 150g$. Thiết bị này được sử dụng trên máy bay để đo gia tốc trong cabin với các chế độ bay khác nhau.

Sai số của hai loại gia tốc kế trên từ $1 \div 5\%$.

e) Đo gia tốc bằng phương pháp biến thành tần số: đây là phương pháp đo rất thuận lợi có thể đo được gia tốc nhỏ cũng như đo tốc độ trực tiếp nhờ các khâu tích phân.

Ưu điểm của phương pháp này là dễ dàng phát hiện được sự thay đổi tần số nhờ sự so sánh giữa tần số đo và tần số mẫu do đó cho phép đo được sự thay đổi gia tốc với sai số khoảng $1 \div 2 \cdot 10^{-6}$ gia tốc đó.

Gia tốc kế kiểu rung: hình 16.20 là sơ đồ nguyên lý của gia tốc kế kiểu rung:



Hình 16.20. Sơ đồ nguyên lý của gia tốc kế kiểu rung dùng đo gia tốc của đường đạn tên lửa

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: chuyển đổi gồm có khối quán tính M gắn lên hai thanh rung kéo căng 2. Đầu kia của thanh rung gắn với vỏ 3.

Hai thanh rung được đặt nằm trong khe hở từ trường của hai nam châm NS. Hai đầu của thanh rung được nối với máy phát rung. Tần số dao động riêng của thanh rung được xác định theo công thức:

$$f_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{F}{ml}} = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}$$

với: f_0 - tần số riêng; l - chiều dài thanh rung
 F - lực kéo; m - khối lượng của cả thanh rung
 σ - Ứng suất cơ; ρ - mật độ

Dưới tác dụng của gia tốc một thanh rung có tần số tăng lên còn thanh kia tần số giảm đi. Đại lượng ra là hiệu tần số của hai thanh rung, tần số này tỉ lệ với gia tốc. Thiết bị đo là các bộ đếm xung.

Đặc điểm: những dụng cụ này có khả năng đo được gia tốc với dải tần rộng từ vài chục đến hàng trăm Hz. Sai số của dụng cụ cỡ 0,01%.

Thường được sử dụng trong hệ thống giao thông đường thủy, đo gia tốc của đường đạn tên lửa...

16.4. Phương pháp đo biến dạng (deformation) và ứng suất cơ (stress).

Đo ứng suất và biến dạng thực tế là một, đó là đo $\Delta l / l$ hay $\Delta l / l$.

Đo biến dạng và ứng suất có thể dùng các loại chuyển đổi khác nhau, thường dùng chuyển đổi điện trở lực căng (tenzo).

Phạm vi đo biến dạng tương đối $\Delta l / l$ bằng một điện trở lực căng: từ 0,005 ÷ 0,02%, hoặc từ 1,5 ÷ 2% và đôi khi có thể từ 6 ÷ 10%.

Ưu điểm của các chuyển đổi điện trở lực căng: quán tính rất nhỏ, sử dụng được trong dải tần rộng 0 ÷ 100kHz. Có thể đo được biến dạng tĩnh và biến dạng động, chế tạo đơn giản, dễ hiệu chỉnh, ít bị nhiễu do điện từ trường bên ngoài tác động.

16.4.1. Các khâu nguyên công khi đo biến dạng và ứng suất bằng điện trở lực căng:

Điện trở lực căng phải được dán trên một lớp cách điện mỏng và dán dọc theo chiều biến dạng vì vậy tùy theo yêu cầu của phép đo mà chọn vị trí, chiều đặt điện trở trên đối tượng đo để có thể phản ánh được biến dạng hoặc ứng suất mà ta muốn đo. Cụ thể các khâu nguyên công bao gồm: chọn vị trí đo, chuẩn bị bề mặt dán và dán chuyển đổi.

Chọn vị trí đo: khi nghiên cứu trạng thái ứng suất theo một hướng nào đó, chuyển đổi được dán theo hướng tác dụng của ứng suất, lúc đo sự biến dạng của chi tiết đo và ứng suất được tính theo công thức:

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_R}{k} \quad \text{và} \quad \sigma = E \cdot \varepsilon_1 = E \cdot \frac{\varepsilon_R}{k}$$

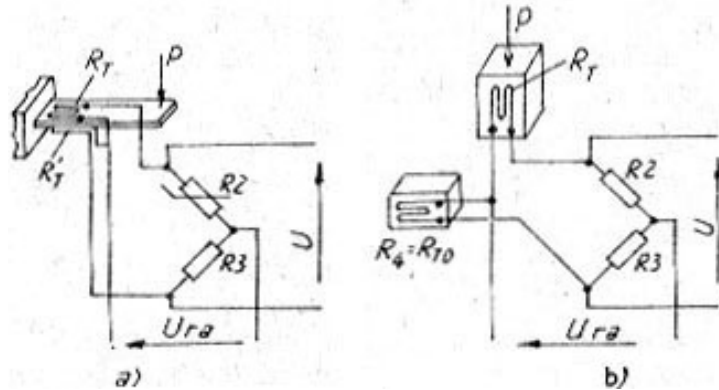
trong đó: k - hệ số độ nhạy tương đối;
 ε_R - độ biến thiên tương đối của điện trở chuyển đổi.
 ε_1 - độ biến thiên tương đối theo chiều dài tác dụng.
 E - môđun đàn hồi của vật liệu

Ví dụ: với vật liệu có môđun đàn hồi $E = 2.10^5 \text{ N/mm}^2$, người ta dùng loại điện trở dây mảnh làm bằng Constantan có hệ số $k = 2$, khi đó ứng suất 100 N/mm^2 tương ứng với $\varepsilon_R = 0,1\%$.

Để loại trừ sai số do nhiệt độ môi trường thay đổi, mạch đo được sử dụng hai

chuyển đổi cùng loại mắc trên hai nhánh của cầu và cùng dán lên một chi tiết đo, đặt trong cùng điều kiện nhiệt độ.

Hình 16.21a cho thấy phương pháp dán hai chuyển đổi điện trở lực căng lên đối tượng cần đo lực uốn của một dầm chịu lực. Khi có lực tác dụng, chuyển đổi R_T nằm phía trên dầm chịu lực kéo còn chuyển đổi R_T nằm phía dưới chịu lực nén:



Hình 16.21. Phương pháp dán hai chuyển đổi điện trở lực căng lên đối tượng cần đo lực uốn của một dầm chịu lực:

a) Khi đối tượng đo có những biến dạng như nhau và ngược dấu nhau

b) Khi đối tượng đo không có những biến dạng như nhau và ngược dấu nhau

như vậy khi cầu mất cân bằng điện áp ra trên đường chéo cầu có giá trị lớn gấp hai lần khi chỉ có một chuyển đổi bị biến dạng, hơn nữa cách này có khả năng loại trừ được sai số do nhiệt độ môi trường gây nên.

Trong trường hợp khi đối tượng đo không có những biến dạng như nhau và ngược dấu nhau, để hiệu chỉnh sai số nhiệt độ có thể dán một chuyển đổi lên đối tượng cần đo, còn chuyển đổi khác dán lên một mẫu được chế tạo cùng loại vật liệu với đối tượng đo, mẫu này được đặt trong cùng điều kiện nhiệt độ xem hình 16.21b.

Chuẩn bị bề mặt dán và dán chuyển đổi: phải đảm bảo các chuyển đổi gắn chặt với đối tượng đo.

Việc chọn vị trí không đúng và dán chuyển đổi không đúng phương pháp sẽ gây sai số lớn (sai số phương pháp).

16.4.2. Chọn mạch đo, điện áp cung cấp và chỉ thị chỉ kết quả:

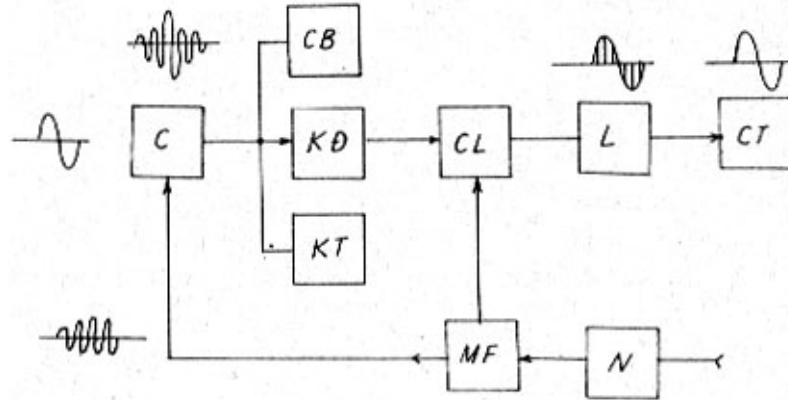
Mạch đo dùng với chuyển đổi điện trở lực căng thường là mạch cầu cân bằng hoặc không cân bằng.

Trong các phép đo biến dạng tĩnh, yêu cầu độ chính xác cao: thường dùng cầu cân bằng hay cầu tự động cân bằng.

Trong các phép đo biến dạng động, độ chính xác không yêu cầu cao: mạch đo thường là mạch cầu không cân bằng, điện áp ra trên đường chéo cầu tỉ lệ với độ biến dạng cần đo. Khi điện áp nhỏ thì cần kết hợp với mạch cầu với các bộ khuếch đại để tăng tín hiệu lên.

a) *Sơ đồ khối của thiết bị đo bị biến dạng:* như hình 16.22: cầu đo C được cung cấp bằng điện áp xoay chiều từ máy phát có tần số chuẩn (MF). Tín hiệu ra của mạch cầu đưa vào khuếch đại (KĐ) để tăng độ lớn, tín hiệu được tiếp tục đưa đến chỉnh lưu nhạy pha (CL) để biến thành tín hiệu một chiều sau đó qua bộ lọc

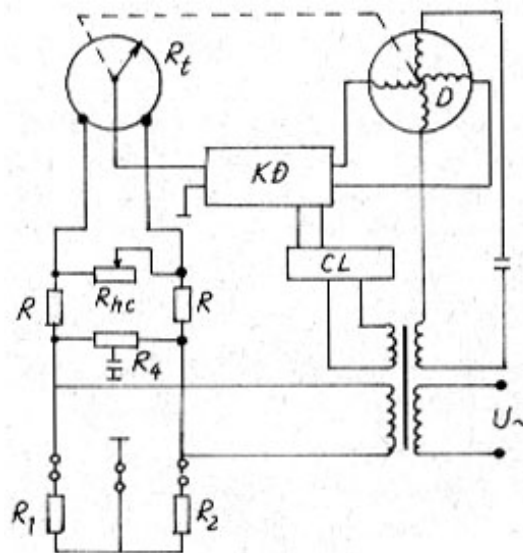
(L) và chỉ thị (CT). Chỉ thị có thể là dao động kí, chỉ thị cơ điện hoặc chỉ thị số...



Hình 16.22. Sơ đồ khối của thiết bị đo bị biến dạng

Mạch khuếch đại và máy phát tần số được cung cấp từ nguồn N. Để kiểm tra độ nhạy và cân bằng cầu có thể dùng thiết bị kiểm tra (KT) và thiết bị cân bằng (CB). Đo biến dạng tĩnh, cân bằng thường dùng mạch cầu tự động.

b) Thiết bị cân bằng tự động dùng để đo biến dạng: có sơ đồ như hình 16.23:



Hình 16.23. Sơ đồ của một thiết bị cân bằng tự động dùng để đo biến dạng

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: hai điện trở lực căng R_1 và R_2 được mắc vào hai nhánh cầu cân bằng. Điện trở R_1 là điện trở làm việc, còn điện trở R_2 dùng để hiệu chỉnh nhiệt độ. Trị số điện trở của R_1 và R_2 giống nhau. Hiệu chỉnh độ nhạy cầu là điện trở $R_{d/c}$. Khi thiết bị làm việc, điện áp ra từ mạch cầu được đưa vào khuếch đại (KĐ) và chỉnh lưu (CL) sau đó đưa vào động cơ thuận nghịch (Đ). Khi động cơ quay kéo con trượt trên biến trở R_t đến cầu cân bằng ở vị trí mới thì dừng lại.

Đặc điểm: thiết bị có giới hạn đo là 10^{-2} đơn vị biến dạng tương đối khi làm việc với điện trở lực căng có trị số $70 \div 400 \Omega$ với độ nhạy $k = 1,8 \div 2,25$. Ngưỡng nhạy của thiết bị là 10^{-6} đơn vị biến dạng tương đối.

16.5. Phương pháp đo lực (force) và mômen xoắn (torque).

16.5.1. Đo lực bằng lực kế:

a) **Phân loại:** tùy theo phương pháp đo lực có thể chia thành:

- *Đo bằng các chuyển đổi trực tiếp:* thường dùng các điện tử áp điện và áp từ. Giới hạn đo của các dụng cụ này phụ thuộc vào điện tích tác dụng các chuyển đổi.

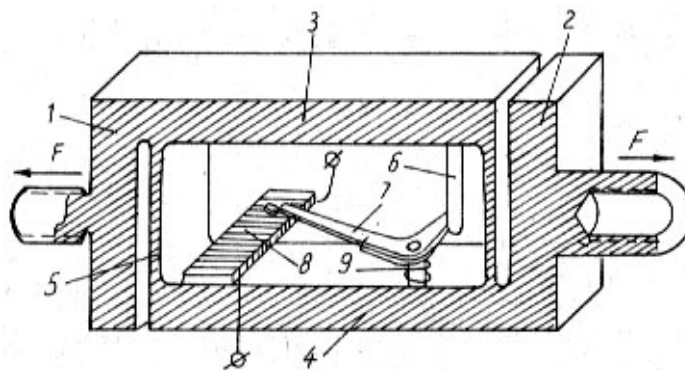
Ví dụ : ứng suất cho phép trong vật liệu áp từ σ không vượt quá giới hạn $\sigma_{cp} = 40\text{N/mm}^2$, đối với thạch anh $\sigma_{cp} = 70 \div 10^8/\text{mm}^2$.

Chuyển đổi áp từ làm việc có chế độ chắc chắn cao và dải tần từ $20 \div 50\text{kHz}$. Phần tử áp điện chỉ đo được với lực biến thiên tần số $\geq 5 \div 10\text{Hz}$ trở lên, không khắc độ được với lực tĩnh.

- *Đo lực bằng phương pháp biến đổi lực thành di chuyển và đo di chuyển để xác định lực:* thực hiện được nhờ các chuyển đổi biến trở, điện cảm, điện dung, điện trở lực căng... Giới hạn đo của các dụng cụ phụ thuộc vào cấu trúc của phần tử dẫn truyền, cách lắp ghép chúng.

Các dụng cụ đo lực như trên gọi là các lực kế.

b) **Lực kế dùng chuyển đổi biến trở:** có sơ đồ như hình 16.24:



Hình 16.24. Sơ đồ nguyên lý và cấu tạo của lực kế dùng chuyển đổi biến trở

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: lực cần đo F tác động lên hai tấm thép 1 và 2, hai tấm này gắn liền với hai khối 3 và 4. Dưới tác dụng của lực đo, bản mỏng 5 bị biến dạng và khối 3 và 4 di chuyển tương đối với nhau. Trong quá trình di chuyển, khối 3 gắn tay gạt 7 làm con trượt di chuyển trên biến trở dây 8. Con trượt được chế tạo từ hợp kim platin-iridi, dây biến trở làm bằng constantan mạ vàng. Lò xo đàn hồi 9 được gắn với tay gạt 7 để đảm bảo tay gạt có thể trở lại vị trí ban đầu khi không có lực tác động.

Thông số đặc trưng: biến trở có 170 vòng, điện trở 500Ω , giới hạn đo khoảng 3kN . Áp lực của con trượt lên các vòng dây bằng $0,02\text{ N}$

Đặc điểm: ưu điểm của lực kế này là đơn giản, dễ chế tạo, dễ sử dụng, độ tin cậy cao không cần khuyếch đại tín hiệu ra.

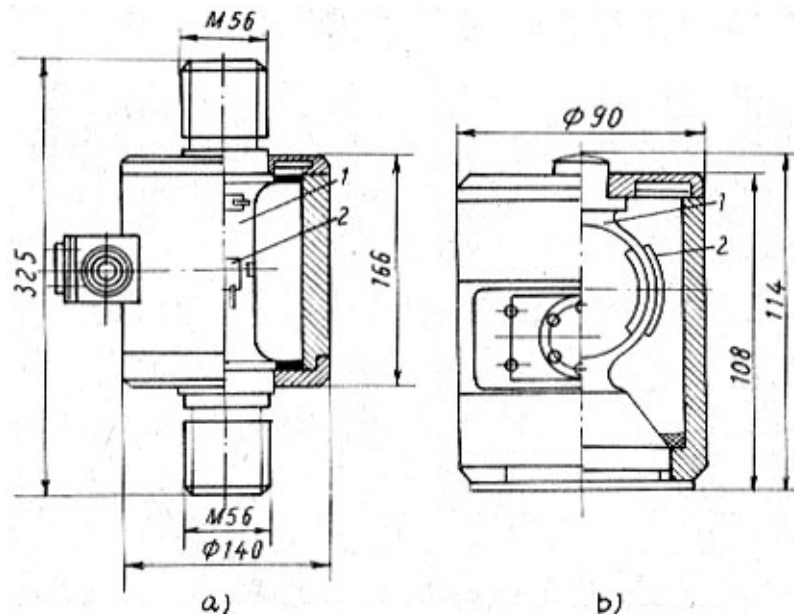
Nhược điểm của dụng cụ là không đo được lực biến thiên nhanh do tay gạt 7 dưới tác dụng của lò xo 9 chỉ thực hiện được với tần số không quá $10 \div 20\text{Hz}$.

Sai số của dụng cụ là $\pm 3\%$.

c) **Lực kế đo lực tác động nhanh:** có thể dùng lực kế với chuyển đổi điện trở tenzô, điện cảm, điện dung, áp điện và áp từ.

Lực kế tenzô: hình 16.25a là lực kế tenzô đo được lực trong khoảng $2.10^3 \div 5.10^5 \text{N}$: phần tử đàn hồi 1 là một thanh thép đặc được dán điện trở tenzô 2.

Lực kế cơ: hình 16.25b: giới hạn đo từ $2.10^4 \div 10^5 \text{N}$, phần tử đàn hồi 1 có dạng hình xuyên, trên đó có dán điện trở tenzô 2 ở cả hai phía trong và ngoài:



Hình 16.25. Lực kế tenzô:

a) Sơ đồ cấu tạo chung

b) Phần tử đàn hồi có dạng hình xuyên trên có dán điện trở tenzô 2 ở cả hai phía

Các điện trở tenzô được nối thành nhánh của mạch cầu không cân bằng. Khi có lực tác động, phần tử đàn hồi 1 bị biến dạng làm cho các điện trở tenzô biến dạng theo.

Với các lực biến thiên chậm, cầu được cung cấp bằng nguồn điện áp tần số 50Hz, chỉ thị là các thiết bị tự ghi. Khi lực tác động nhanh, chỉ thị là các dao động kí.

Sai số của lực kế gồm hai thành phần, sai số cộng tính và sai số nhân tính.

$$\Delta = \gamma_0 X_{dm} + \gamma_s X$$

$$\gamma = \gamma_0 \frac{X_{dm}}{X} + \gamma_s$$

$$\gamma_t = \gamma_{ot} \frac{X_{dm}}{X} + \gamma_{st}$$

với: Δ, γ - sai số tuyệt đối và sai số tương đối ở điều kiện chuẩn ($20 \pm 5^\circ \text{C}$)

γ_t - sai số phụ do nhiệt độ thay đổi trên 10°C

γ_0 - sai số quy đổi không

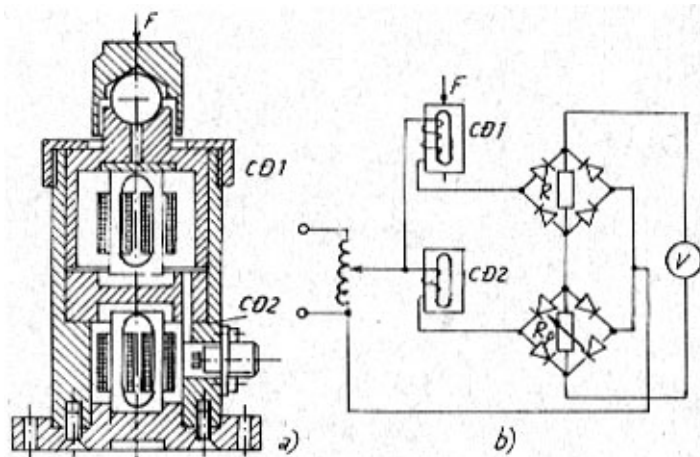
γ_s - sai số do độ nhạy tương đối

X_{dm}, X - giới hạn đo trên và giá trị của đại lượng đo.

Lực kế kiểu áp từ: như hình 16.26: trong đó chuyển đổi áp từ 1 (CĐ1) là chuyển đổi làm việc, chịu lực tác động F; còn chuyển đổi áp từ 2 (CĐ2) là chuyển đổi phụ, không chịu lực tác động, dùng để bù điện cảm ban đầu và bù các yếu tố ảnh hưởng từ bên ngoài như nhiệt độ, tần số nguồn cung cấp thay đổi. Hai

chuyển đổi được mắc với hai điện trở R thành mạch cầu.

Điện áp ra của mạch cầu được đo bằng milivômet hoặc các chỉ thị đo điện áp.



Hình 16.26. Lực kế kiểu áp từ:

a) Sơ đồ cấu tạo

b) Mạch đo

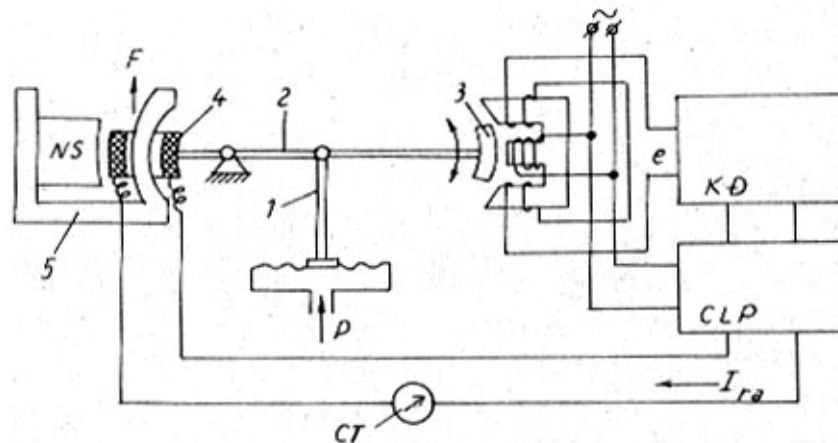
Ưu điểm: đo được lực tác động lớn, thuận tiện khi đo ở hiện trường, độ làm việc tin cậy, chắc chắn.

Nhược điểm: độ chính xác không cao, có hiện tượng trễ.

16.5.2. Đo lực bằng phương pháp bù:

Để nâng cao độ chính xác của phép đo có thể dùng phương pháp bù đo lực.

Hình 16.27 là sơ đồ của lực kế kiểu bù:



Hình 16.27. Sơ đồ của lực kế kiểu bù

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: lực cần đo P tác động lên thanh dẫn động 1 đến cánh tay đòn 2. Đầu cánh tay đòn phía bên phải mang phần ứng 3 của chuyển đổi hồ cảm mắc kiểu biến áp vi sai.

Khi phần ứng di chuyển tạo ra một điện áp ở đầu ra của biến áp. Điện áp này được đưa vào khuếch đại (KĐ) để tăng tín hiệu ra sau đó đưa đến chỉnh lưu pha (CPL). Dòng điện sau chỉnh lưu (I_{ra}) được dẫn đến cuộn dây 4 của chuyển đổi ngược kiểu cảm ứng 5 ở đầu cánh tay đòn bên trái. Dòng điện chạy trong cuộn dây 4 tạo ra một lực đẩy F lên cánh tay đòn bù với lực P :

$$F = k_p I_r$$

$$F = k.P \rightarrow P = \frac{k_p}{k} . I_r = K . I_r$$

với: k_p, k, K là các hệ số.

Như vậy đo dòng điện I_r suy ra được lực P cần đo.

Đặc điểm: độ chính xác của phương pháp này khá cao với $\gamma = 0,05 \div 0,02\%$.

Chỉ thị (CT) được khắc độ trực tiếp giá trị đo.

Nhược điểm của thiết bị trên là không đo được lực lớn vì chuyển đổi điện từ ngược có trọng lượng 0,5 kg chỉ có thể đo được lực tác động cỡ 2N. Khi cần đo lực có giá trị từ 5 ÷ 7 N trọng lượng có thể tăng lên đến 5 ÷ 10kg.

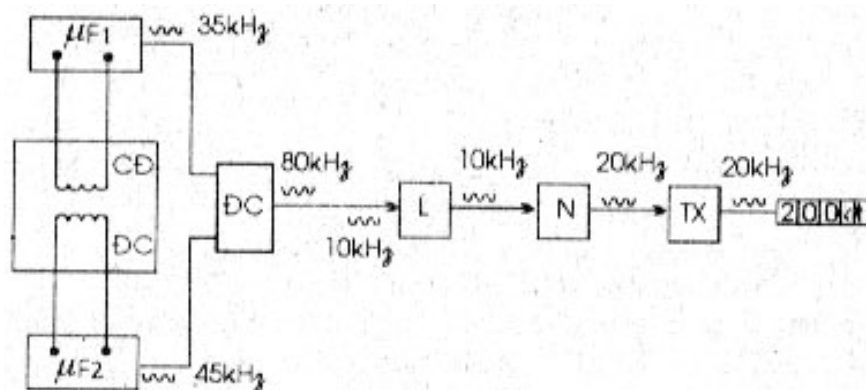
Sai số chủ yếu do ma sát của trục quay cánh tay đòn gây nên và do hiện tượng từ trễ của chuyển đổi hồ cảm.

16.5.3. Lực kế chỉ thị số:

Một trong những phương pháp đo lực có độ chính xác cao là phương pháp biến lực thành tần số, đo tần số xác định giá trị lực cần đo.

Các chuyển đổi dùng đo lực theo phương pháp này thường là các chuyển đổi điện cảm, điện dung kết hợp với các máy phát tần số LC và RC.

Hình 16.28 là sơ đồ khối của một lực kế chỉ thị số:



Hình 16.28. Sơ đồ khối của lực kế chỉ thị số

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: chuyển đổi điện cảm mắc kiểu vi sai (CD) được cung cấp từ hai nguồn máy phát 1 và 2 có tần số bằng nhau 40kHz.

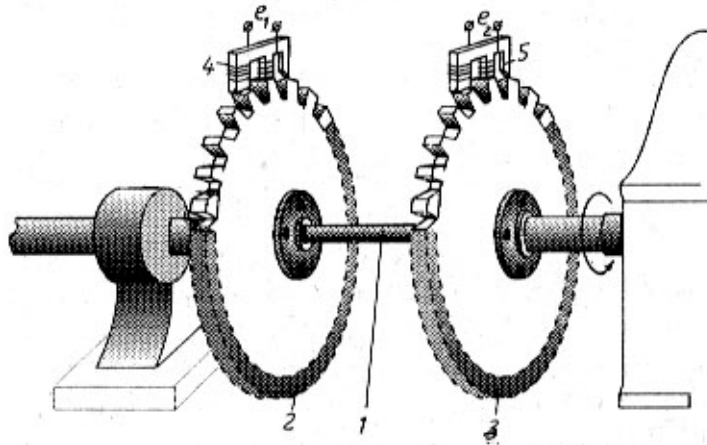
Khi chưa có lực tác động vào chuyển đổi thì tần số của máy phát không thay đổi và bằng 40kHz. Dưới tác dụng của lực cần đo sẽ làm cho điện cảm của hai chuyển đổi bị thay đổi làm cho một máy phát tần số có tần số tăng còn máy kia có tần số giảm đi. Nhờ bộ điều chế (ĐC) và bộ lọc (L), hiệu tần số của hai máy phát được tách ra và đưa vào bộ nhân tăng tần số lên gấp hai lần. Tần số này được đưa đến bộ tạo xung (TX) tạo thành các xung vuông, các xung được đếm bằng chỉ thị số. Chỉ thị khắc độ giá trị cần đo.

16.5.4. Đo biến dạng xoắn và mômen xoắn trên bộ phận quay:

Vấn đề khó khăn khi đo mômen xoắn ở bộ phận quay là đưa tín hiệu đo từ phần quay ra ngoài. Ngoài ra điện áp ra của các khâu chuyển đổi thường rất thấp (cỡ mV), với điện áp thấp như vậy thì ảnh hưởng của điện trở tiếp xúc ở các đầu trượt đưa điện áp ra ngoài là hết sức quan trọng và khó tránh khỏi.

Có thể dùng các biện pháp với các đầu trượt đặc biệt như dây trượt, tiếp điểm thuỷ ngân, khuếch đại tín hiệu ngay tại chỗ sau đó đưa tín hiệu ra ngoài hoặc dùng các chuyển đổi điện áp lớn. Tuy vậy các phương pháp trên cũng gặp nhiều khó khăn. Một phương pháp hay được sử dụng là phương pháp đo không tiếp xúc.

a) **Đo mômen xoắn không tiếp xúc sử dụng chuyển đổi cảm ứng:** có cấu tạo như hình 16.29:

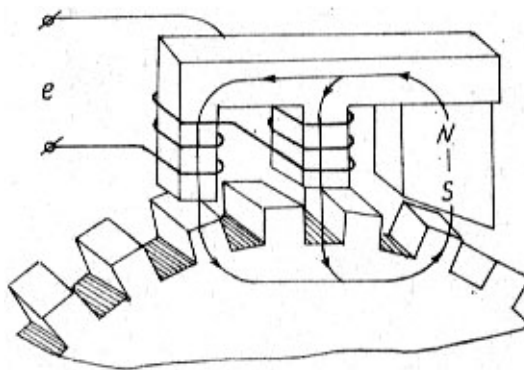


Hình 16.29. Cấu tạo của thiết bị đo mômen xoắn không tiếp xúc

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: trên trục cần đo mômen xoắn 1 được gắn hai đĩa sắt từ có bánh răng 2 và 3, hai đĩa này nối với nhau bằng thanh chịu xoắn tốt, có hằng số xoắn biết trước.

Khi chịu lực xoắn hai đĩa 2 và 3 lệch nhau một góc α . Đo góc lệch ấy có thể suy ra mômen cần đo. Để đo góc lệch người ta đo góc pha giữa hai tín hiệu ra do hai chuyển đổi cảm ứng 4 và 5.

Chuyển đổi cảm ứng 4 và 5 sử dụng để đo tốc độ và mômen xoắn có cấu tạo như hình 16.30:



Hình 16.30. Cấu tạo của chuyển đổi cảm ứng sử dụng để đo tốc độ và mômen xoắn

Chuyển đổi gồm có gông từ 1, nam châm vĩnh cửu 2, đường sức từ đi vòng qua đĩa răng 3. Khi gông từ nằm đối diện với răng của đĩa, khe hở mạch từ là nhỏ nhất. Khi bánh răng quay, khe hở không khí tăng lên, từ thông Φ móc vòng qua cuộn dây thay đổi và sinh ra sức điện động cảm ứng với tần số:

$$f = \frac{n.a}{60}$$

với: n - tốc độ quay của đĩa; a - số răng

Như vậy khi chưa có mômen xoắn, răng của hai đĩa 2 và 3 đặt song song với nhau, sức điện động cảm ứng e_1 và e_2 trùng pha nhau.

Khi bị xoắn, đĩa 2 và 3 lệch nhau một góc nào đó và sức điện động cảm ứng e_1 và e_2 lệch nhau một góc tỉ lệ với mômen xoắn.

$$\varphi = \frac{\alpha}{2\pi} \cdot a$$

với α là góc lệch giữa hai đĩa và:

$$\alpha = k \cdot M$$

suy ra:

$$\varphi = \frac{k \cdot M}{2\pi} \cdot a$$

và

$$M = \frac{\varphi \cdot 2\pi}{k \cdot a} = K \varphi$$

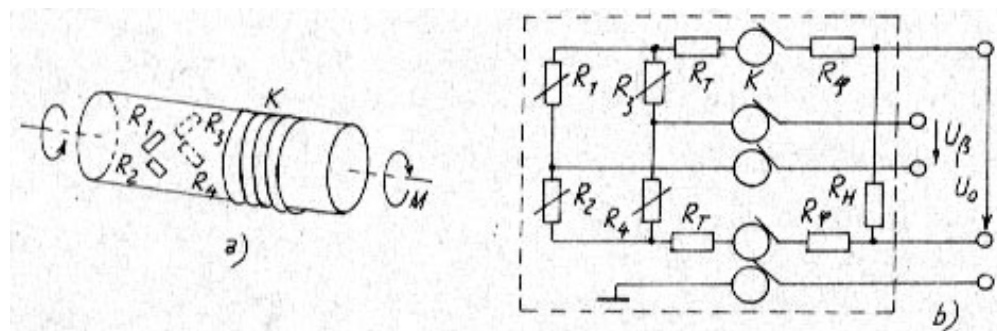
với: k, K - là các hệ số tỉ lệ; M - mômen xoắn cần đo

Việc đo góc pha φ có thể thực hiện bằng các thiết bị khắc độ giá trị M .

Đặc điểm: ưu điểm của thiết bị trên là không bị nhiễu, sai số chỉ phụ thuộc vào thanh đàn hồi và các đầu nối vì vậy chúng có thể giảm đến $0,1 \div 0,2\%$. Sai số do nhiệt độ thay đổi mỗi 10°C là $0,1 \div 0,2\%$.

Ngoài đo mômen xoắn thiết bị này còn có thể được ứng dụng để đo tần số quay.

b) Phương pháp tiếp xúc đo mômen xoắn bằng các điện trở lực căng: có sơ đồ nguyên lý như hình 16.31:



Hình 16.31. Sơ đồ nguyên lý phương pháp tiếp xúc đo mômen xoắn bằng các điện trở lực căng:

a) Cách dán các điện trở lực căng (tenzo) lên trục cần đo

b) Mạch đo

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: độ biến dạng của một trục khi bị xoắn có thể biểu diễn bằng biểu thức :

$$\varepsilon = \frac{8 \cdot M \cdot d_1 \sin(2\alpha)}{\pi \cdot (d_1^4 - d_2^4) G}$$

trong đó:

ε - độ biến dạng của trục

d_1, d_2 - đường kính ngoài và trong của trục

M - mômen quay

$G = 0,385 E$ - môđun dịch chuyển

E - môđun đàn hồi (với thép $E = 20,6 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$)

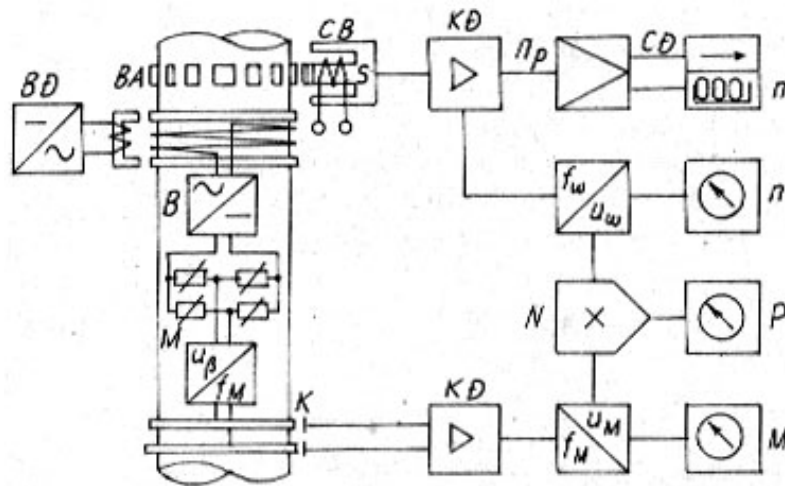
α - góc lệch khi trục biến dạng

Độ biến dạng lớn nhất khi $\alpha = 45^\circ$ tức là $\sin 2\alpha = \sin 90^\circ = 1$

Để đo độ biến dạng, bốn điện trở lực căng $R_1 \div R_4$ được dán lên trục cần đo, các điện trở được mắc thành mạch cầu. Điện áp cung cấp cho mạch cầu U_0 và điện áp ra U_r được dẫn qua các vành trượt k đưa ra ngoài.

Đặc điểm: phương pháp trên có nhược điểm là điện trở tiếp xúc khá lớn, rất khó khi đưa điện áp vào cung cấp cho mạch cầu cũng như lấy tín hiệu ra ngoài và sai số lớn.

c) Phương pháp không tiếp xúc đo mômen xoắn bằng các điện trở lực căng: để khắc phục nhược điểm của phương pháp tiếp xúc đo mômen bằng các điện trở lực căng có thể dùng phương pháp không tiếp xúc có sơ đồ nguyên lý như hình 16.32:



Hình 16.32. Sơ đồ nguyên lý phương pháp không tiếp xúc đo mômen xoắn bằng các điện trở lực căng

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: bốn chuyển đổi điện trở lực căng được dán lên trục tạo thành mạch cầu bốn nhánh (M). Mạch cầu được cung cấp nguồn từ biến áp (BA).

Biến áp (BA) có cuộn dây sơ cấp cố định, cuộn thứ cấp quay theo trục. Điện áp ra xoay chiều của biến áp đưa đến chỉnh lưu (CL) để tạo thành dòng một chiều cung cấp cho mạch cầu. Máy biến áp (BA) được cung cấp từ nguồn xoay chiều được biến đổi từ nguồn một chiều nhờ bộ biến đổi (BD).

Điện áp ra của mạch cầu (U_β) nhờ bộ biến đổi áp tần (U_β / f_M) biến thành tần số $f = 5 \div 15 \text{ kHz}$. Tần số f được đưa ra ngoài nhờ cổ góp K đến khuếch đại (KD) và qua bộ biến đổi ngược (f_M / U_M) biến tần số thành điện áp. Tín hiệu ra là điện áp $\pm 1 \text{ V}$ hoặc $\pm 10 \text{ V}$ hay dòng điện $\pm 20 \text{ mA}$.

Chỉ thị cho ta biết được mômen quay M.

Đặc điểm: thiết bị trên có dải đo từ $10 \text{ N.m} \div 50 \text{ kN.m}$; tần số dao động không quá 8 kHz và dải tần đo từ $0 \div 2 \text{ kHz}$. Độ nhạy đạt được từ $1 \div 100 \text{ mV}$.

Ngoài đo mômen quay thiết bị này còn có thể đo được tần số quay bằng cách sử dụng chuyển đổi cảm ứng (CB) với các răng quay theo trục như hình vẽ trên, mỗi vòng quay chuyển đổi tạo được k xung.

Để xác định công suất được sinh ra trên trục $P = M \cdot \omega$ thì mômen quay M và

tốc độ quay n hoặc tốc độ góc $\omega = \pi.n/k$ được biến đổi thành dòng điện hoặc điện áp $U_M \sim M$ và $U_\omega \sim \omega$ và thông qua bộ nhân (N) để tính P .

16.6. Các phương pháp đo áp suất.

16.6.1. Tổng quan các phương pháp đo áp suất:

Phương pháp đo áp suất cũng như đo lực có thể theo hai hướng:

- *Đo điện áp bằng các chuyển đổi phản ánh trực tiếp đại lượng đo:* gồm có chuyển đổi áp điện, áp từ, điện trở lực căng.

Phần tử áp điện làm bằng thạch anh có thể đo được áp suất tới 100MN/m^2 , chuyển đổi áp từ đo được áp suất đến 10MN/m^2 vì với áp suất lớn, đặc tính của nó trở nên phi tuyến và không đơn trị.

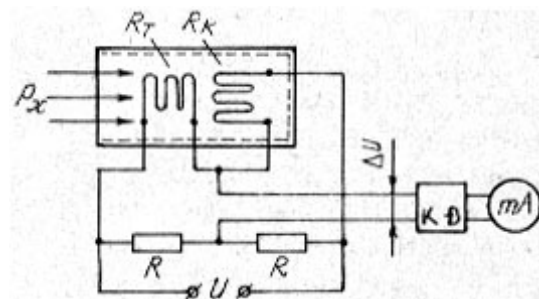
Để đo áp suất lớn hơn từ $100 \div 400\text{MN/m}^2$ người ta sử dụng chuyển đổi điện trở dây manganin vì với dải áp suất trên độ nhạy về sự thay đổi điện trở của dây khi áp suất biến thiên mới ổn định và bằng 2,5% trên 1MN/m^2 .

- *Chuyển đổi áp suất thành di chuyển, đo độ di chuyển suy ra áp suất:* phương pháp này thường dùng các chuyển đổi điện dung, điện cảm và điện trở lực căng...

Thực hiện theo hướng nào là do yêu cầu cụ thể và điều kiện đo thực tế. Các dụng cụ dùng đo áp suất được gọi là áp kế. Dưới đây là một số phương pháp và thiết bị đo áp suất thường dùng.

16.6.2. Áp kế điện trở lực căng:

Có sơ đồ nguyên lý như hình 16.33:



Hình 16.33. Sơ đồ nguyên lý của áp kế điện trở lực căng

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: cấu tạo gồm có ống rỗng tròn làm bằng thép, trên bề mặt ống được dán hai điện trở lực căng R_T và R_K mắc cùng với hai điện trở R tạo thành mạch cầu. Khi có áp suất P_X cần đo, bề mặt của ống bị biến dạng. Độ biến dạng được tính bằng biểu thức:

$$\epsilon_1 = \frac{P_X \cdot r}{E \cdot h}$$

với: P_X - áp suất đo.

r và h - đường kính và chiều dày thành ống

E - môđun đàn hồi của thép.

Độ biến dạng ϵ_1 được phản ánh nhờ điện trở lực căng R_T , còn điện trở R_X dán dọc ống dùng để bù nhiệt độ.

Khi điện áp cung cấp cho mạch cầu không đổi, điện áp ở đầu ra của mạch cầu ΔU tỉ lệ với áp suất đo. Để tăng tín hiệu ra người ta mắc thêm bộ khuếch đại

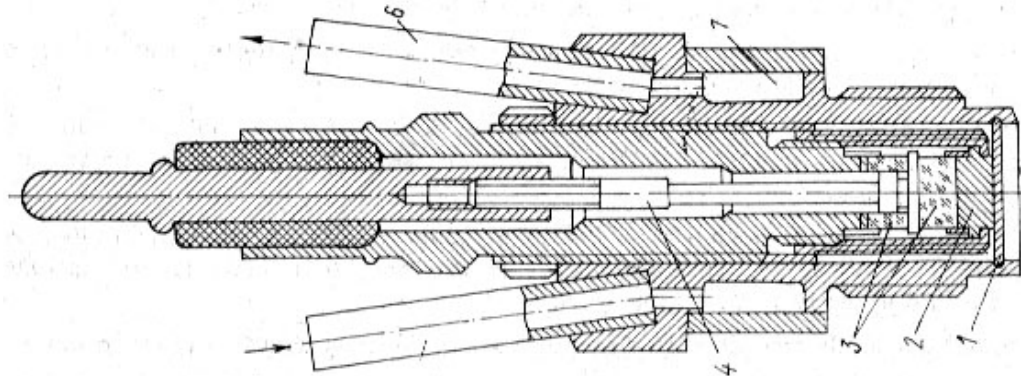
(KĐ), miliampemét được khắc độ theo áp suất cần đo.

Đặc điểm: dải đo áp suất $5 \cdot 10^4 \div 10^7$ bar, sai số quy đổi $\pm 1,5\%$. Do quán tính nhỏ nên thiết bị trên có thể dùng đo áp suất biến thiên nhanh, tín hiệu ra được ghi trên dao động kí cơ khí hoặc quan sát trên dao động kí điện tử.

16.6.3. Chuyển đổi áp điện đo áp suất:

Phần tử áp điện có ưu điểm là đo được áp suất biến thiên nhanh nên thường được dùng để đo áp suất trong xi lanh động cơ đốt trong.

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: như hình 16.34:



Hình 16.34. Cấu tạo của dụng cụ ứng dụng chuyển đổi áp điện để đo áp suất

Đầu chuyển đổi có màng mỏng 1 nhận trực tiếp áp suất của xi lanh. Tần số riêng của màng này được chọn thích hợp với tốc độ biến thiên của áp suất. Áp suất được truyền qua đệm kim loại 2 đến phần tử áp điện 3. Các điện tích được lấy ra từ cực 4 và vỏ của chuyển đổi.

Độ nhạy của phần tử áp điện bằng thạch anh chỉ không thay đổi ở khoảng nhiệt độ dưới 200°C nhưng do nhiệt độ trong xi lanh lớn hơn nhiều vì vậy người ta phải chế tạo một somi toả nhiệt trong các lỗ 5, 6, 7 để dẫn nước chảy qua.

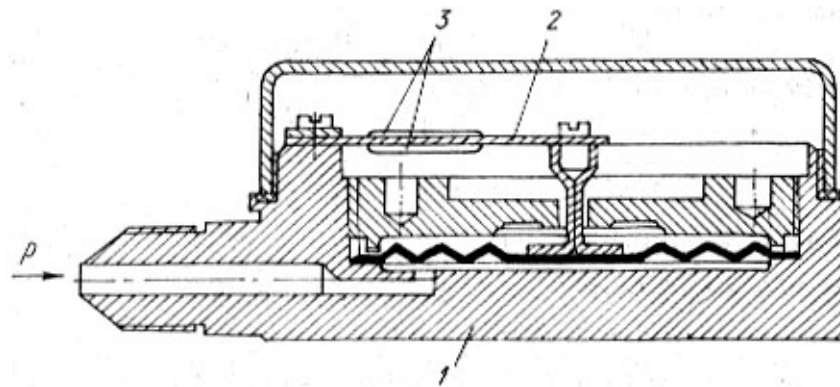
Đặc điểm: điện trở ra của chuyển đổi rất lớn $10^{13}\Omega$ nên đòi hỏi điện trở cách điện của dây dẫn và điện trở đầu vào của bộ khuếch đại cũng phải lớn. Với một dải tần tương đối rộng, tốc độ biến thiên áp suất trong xi lanh rất lớn do đó phải dùng các đầu rung của dao động ký có tần số riêng cao nhưng độ nhạy thường lại thấp vì vậy yêu cầu hệ số khuếch đại phải lớn để có thể đo áp suất từ $0 \div 15\text{MN/m}^2$.

16.6.4. Áp kế màng:

Trong thiết bị này áp suất được biến đổi thành di chuyển, đo di chuyển để suy ra áp suất.

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: có sơ đồ như hình 16.35: áp suất cần đo P tác động lên màng 1 qua bộ phận dẫn truyền đẩy lò xo phẳng 2 làm lò xo di chuyển. Độ uốn của lò xo 2 tỉ lệ với áp suất P. Ở hai phía của lò xo phẳng 2 người ta dán hai điện trở lực căng 3. Khi lò xo bị uốn một chuyển đổi chịu lực kéo, còn một chịu lực nén.

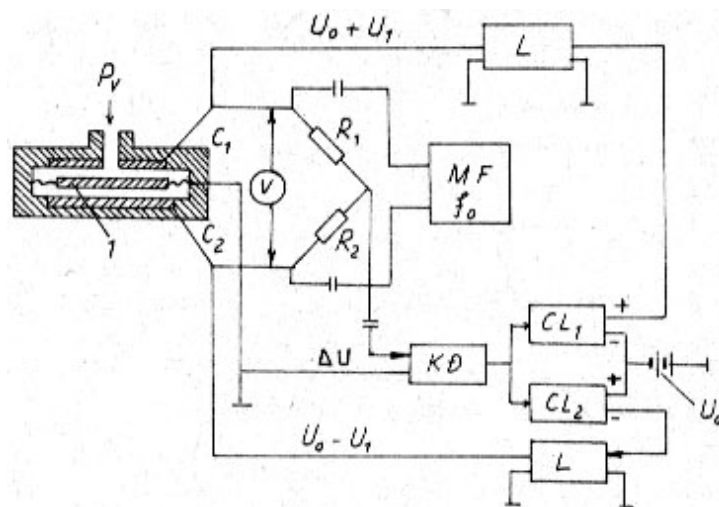
Đặc điểm: thiết bị trên có thể đo được áp suất trong khoảng từ $0,1 \div 0,6\text{MN/m}^2$. Sai số tương đối quy đổi $\pm 1,5\%$ và có thể làm việc với bất kỳ loại điện trở lực căng nào.



Hình 16.35. Sơ đồ áp kế màng ЭДД-22

16.6.5. Thiết bị cân bằng đo áp suất dùng chuyển đổi điện dung:

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: như hình 16.36:



Hình 16.36. Cấu tạo của thiết bị cân bằng đo áp suất dùng chuyển đổi điện dung

Điện dung c_1 , c_2 là hai nhánh cầu với hai điện trở R_1 , R_2 tạo thành mạch cầu. Trên phần động 1 của chuyển đổi điện dung đặt điện áp một chiều U_0 .

Khi phần động 1 ở vị trí giữa lực F_1 và F_2 tác dụng lên nó có trị số như nhau, mạch cầu ở trạng thái cân bằng.

Khi có áp suất cần đo P tác dụng lên phần động làm nó di chuyển, cầu mất cân bằng, điện áp ra lấy từ đường chéo cầu được đưa vào khuếch đại (KĐ) và hai bộ chỉnh lưu (CL_1) và (CL_2) và bộ lọc (L).

Điện áp một chiều tổng $U_0 + U_1$ và hiệu $U_0 - U_2$ đặt lên phần động 1, lúc này phần động chịu một lực tác dụng.

$$F = F_1 - F_2 = \frac{\epsilon s}{2} \left[\left(\frac{U_0 + U_1}{\delta_0 + \Delta x} \right)^2 - \left(\frac{U_0 + U_2}{\delta_0 + \Delta x} \right)^2 \right]$$

trong đó: ϵ - Hằng số điện môi

s - tiết diện bản cực

δ_0 - Khe hở giữa các bản cực;

Δx - lượng di chuyển của bản cực động

Do hệ số khuếch đại lớn có thể bỏ qua trị số Δx so với δ_0 , lúc đó áp suất sẽ được tính là:

$$P = \frac{\varepsilon}{2} \cdot \left[\frac{(U_0 + U_1)^2 - (U_0 - U_2)^2}{\delta_0^2} \right]$$

Nếu chỉnh lưu (CL₁) và (CL₂) đối xứng nhau và $U_1 = U_2$ thì áp suất đo sẽ tỉ lệ với điện áp:

$$P = \varepsilon \cdot \frac{U_0 (U_1 + U_2)}{\delta_0^2}$$

Vôn-mét V chỉ cho ta biết áp suất cần đo.

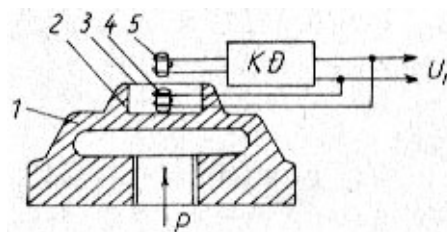
16.6.6. Đo lực, áp suất bằng thiết bị số:

Phương pháp số đo lực được thực hiện theo hai cách:

- Biến lực, áp suất thành điện áp sau đó đo điện áp bằng các dụng cụ số.
- Biến lực, áp suất thành tần số, đo tần số suy ra lực.

Thực hiện phương pháp nào tùy thuộc vào yêu cầu của phép đo.

a) **Thiết bị đo áp suất theo nguyên lý biến áp suất thành tần số:** có sơ đồ nguyên lý như hình 16.37:

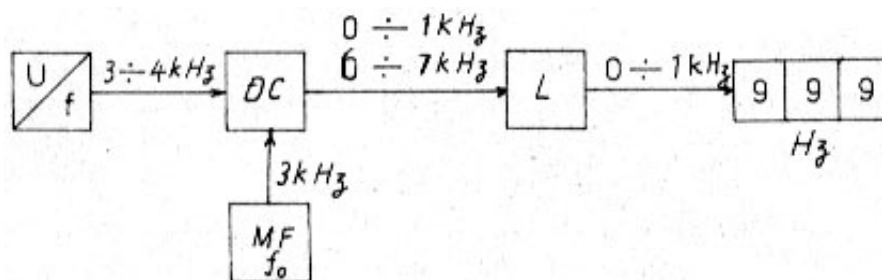


Hình 16.37. Sơ đồ nguyên lý của thiết bị đo áp suất theo nguyên lý biến áp suất thành tần số

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: áp suất đo P tác động lên màng 1, qua giá đỡ 2 kéo căng màng rung 3 đó là một màng mỏng phẳng. Các chi tiết 1, 2, 3 được chế tạo thành một khối và cùng loại vật liệu. Tần số dao động của màng rung khi chưa có áp suất là 3kHz, khi có áp suất tần số tăng lên tới 4kHz.

Dao động của màng rung được duy trì nhờ bộ biến đổi điện từ phân cực 4, cung cấp từ đầu ra của khuếch đại (KĐ). Điện áp đưa vào khuếch đại cũng lấy từ bộ biến đổi điện từ phân cực 5 và 4 do dao động của màng rung. Với hệ thống kín có phản hồi dương, dao động của màng rung được duy trì, trong đó có tần số cộng hưởng riêng. Điện áp ra xoay chiều U_r đồng bộ với tần số của màng.

Sơ đồ khối của áp kế trên được vẽ trên hình 16.38:



Hình 16.38. Sơ đồ khối của áp kế theo nguyên lý biến áp suất thành tần số

Trong đó bộ biến đổi tần số-áp suất (U/f) đưa ra tần số 3kHz, khi chưa có áp suất và tăng lên 4kHz khi tăng áp suất đến định mức. Nhờ bộ điều chế (ĐC) điện áp này được trộn với điện áp của máy phát có tần số cố định 3kHz. Đầu ra của bộ

điều chế bao gồm tổng của hai tần số thay đổi từ $6\div 7$ kHz và hiệu tần số 1kHz. Bộ lọc tần số thấp (L) chỉ cho tần số 1kHz đi qua và sự thay đổi áp suất đo là hàm của tần số biến thiên từ $0\div 1$ kHz. Tần số được đo bằng tần số kế chỉ thị số hoặc đưa vào máy tính.