

Rezoluția este foarte ridicată permițând sesizarea unor variații foarte fine a intensității luminoase receptate.

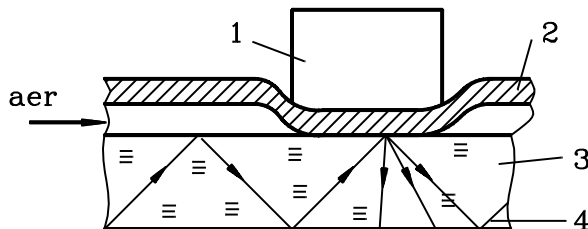


Fig. 5.37 Senzor tactil optic (1-obiect de prehensat; 2-trimitere un fascicul de raze prin membrană elastică; 3-placă transparentă; 4-rază luminoasă)

Schița principală a elementului senzorial primar este prezentată în figura 5.37 [5.18]. Placa din material plastic transparent (rășină acrilică) este separată prin aer de o membrană elastică aflată în contact cu obiectul de apucat. O sursă de lumină trimite un fascicul de raze prin intermediul unor fibre optice asupra plăcii transparente care se comportă ca o lamă cu fețe plan paralele. Când o forță acționează asupra membranei, aceasta se deformează ajungând în contact cu placa transparentă. În punctul de contact membrană - placă se va modifica indicele de reflexie al plăcii iar razele luminoase suferă o reflexie difuză sesizată prompt de receptorul CCD. În figura 5.38 se prezintă schița principală de dispunere a senzorului tactil în "degetul" efectorului.

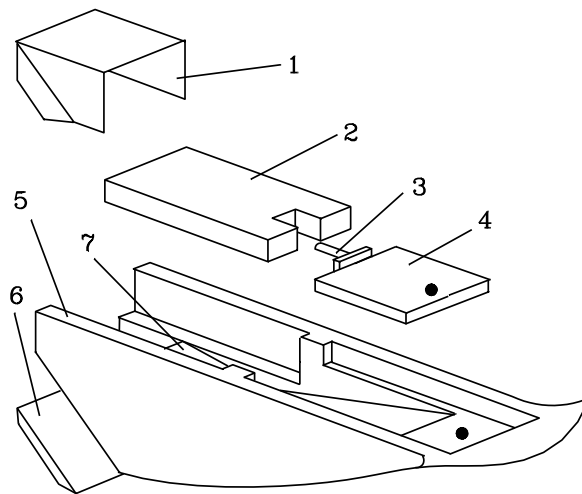


Fig. 5.38 Schița principală de dispunere a senzorului în degetul efectorului (1-membrană; 2-placă acrilică; 3-sursă de lumină; 4 -suport; 5-deget; 6-oglină; 7- ecran)

### 5.3.10 Senzori tactili pentru recunoșterea formelor tridimensionale

Pentru recunoașterea tridimensională a unor piese, fără a se lua în considerare forțele de contact piesă - efector, au fost realizate o serie de modele. Structural aceste modele sunt asemănătoare. Un număr ridicat de tije mobile, independente unele față de altele, sunt montate sub formă matriceală pe un suport de referință. Venind în contact cu piesa ce se dorește a fi

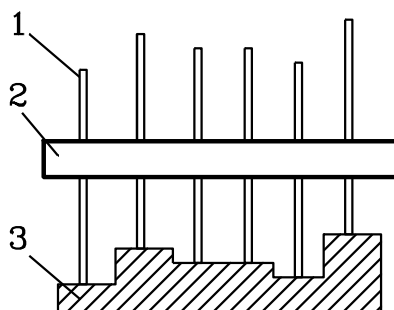


Fig.5.39 Principiul senzorilor tactili pentru forme tridimensionale (1-tijă; 2-suport; 3-obiect)

recunoscută, fiecare tijă (1) se deplasează în raport cu suportul de referință (2). Amplitudinea mișcării definește o caracteristică a reliefului piesei (3) (fig.5.39).

O metodă de măsurare dinamică utilizează două matrici (cu tije) dispuse pe bacurile unui efortor bidigital. Un microcontactor este asociat fiecărei tije în scopul determinării contactului cu obiectul. Starea tijelor (contact sau lipsă contact) este determinată pe măsura închiderii bacurilor efortorului. Mișcarea de închidere este sesizată prin intermediul unui traductor rezistiv de deplasare. Relieful piesei este reconstituit prin suprapunerea tuturor planurilor sesizate (fig.5.40).

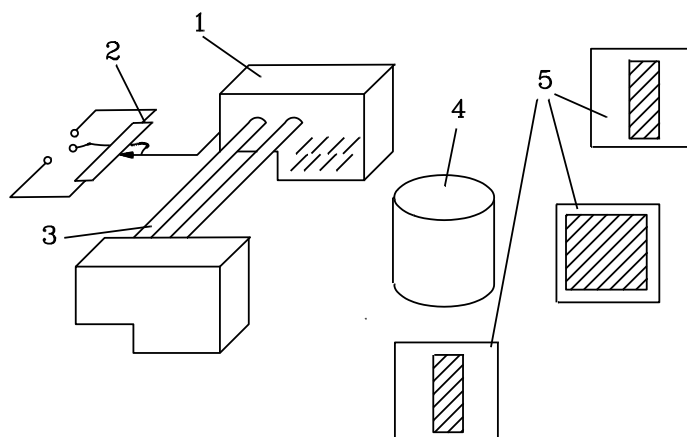


Fig.5.40 Principiul de funcționare a unui efortor cu senzor tactil (1-bac; 2-traductor de deplasare rezistiv; 3-ghidaj; 4-piesă; 5-plane de relief)

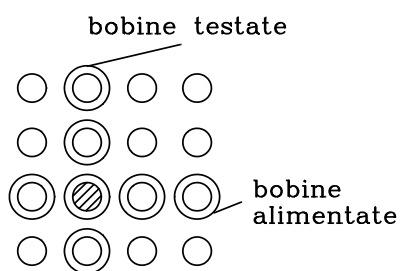


Fig.5.41 Schița principală a unei matrici senzoriale

Alte metode realizează evaluarea deplasării fiecărei tije prin intermediul unor traductoare inductive diferențiale. În figura 5.41 se prezintă schița principală a unei matrici senzoriale în care evaluarea deplasării se face pe cale inductivă [5.19]. Matricea are dimensiunea 8 x 8. Alimentarea bobinelor și respectiv testarea eventualelor puncte de contact se fac pe direcții perpendiculare (fig.5.41).

Fiecare "celulă" sensibilă are la bază (pe lângă traductorul inductiv) un tub de plastic, tija mobilă din oțel și un arc din bronz fosforos care asigură

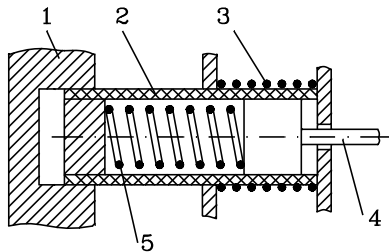


Fig.5.42 Componenta unei celule sensibile  
(1-suport; 2-tub; 3-arc;4-tija;5-arc)

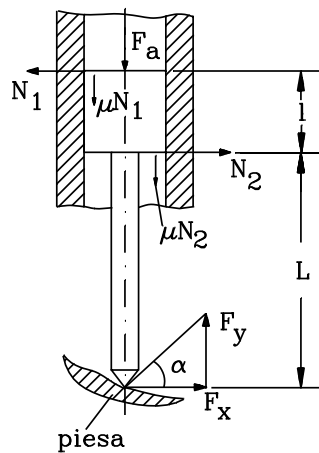


Fig.5.43 Forțele între tijă, piesă și tub

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{l}{\mu \cdot \left(1 + 2 \frac{L}{l}\right)} \quad (5.18)$$

Este esențial de a avea valori reduse pentru coeficientul de frecare  $\mu$  și raportul  $L/l$ . Tubul se poate realiza din orice material nemagnetic care să prezinte însă și unele proprietăți lubrifiante. Bronzul fosforos este un material excelent pentru arc: este pe de o parte nemagnetic iar pe de altă parte are un modul de elasticitate redus (există posibilitatea obținerii unui arc extrem de flexibil).

### 5.3.11. Senzori tactili magnetici

Senzorii tactili magnetici își bazează principiul de funcționare pe contribuția variației amplitudinii câmpului magnetic la modificarea unei rezistențe electrice plasate în acest câmp.

revenirea tije în poziția inițială după dispariția contactului cu piesa. Tubul de plastic are în același timp și rolul de carcasă pentru traductorul inductiv (fig.5.42).

Din punct de vedere constructiv se impune să se soluționeze problema unghiului critic de contact  $\alpha$ , dintre tijă și piesă (fig.5.43).

Neglijând dimensiunile radiale ale tije, reacțiunile în punctele de contact sunt:

$$N_1 = F_x \cdot \frac{l}{L} \quad (5.14)$$

$$N_2 = F_x \cdot \left(1 + \frac{l}{L}\right) \quad (5.15)$$

Considerând un același coeficient de frecare  $\mu$  între tijă și tub în ambele puncte de contact, condiția deplasării tije în tub se poate scrie sub forma:

$$F_y \geq \mu \cdot (N_1 + N_2) + F_a \quad (5.16)$$

Prin prelucrarea expresiilor anterioare se obține relația:

$$F_y \geq \frac{F_a}{1 - \mu \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \left(1 + 2 \frac{l}{L}\right)} \quad (5.17)$$

unde  $F_a$  este forța dezvoltată de arc asupra tije mobile.

Din relația (5.17) se obține unghiul de presiune critic pentru care nu apare blocarea tije:

Această categorie de elemente senzoriale recurg astfel la utilizarea magnetorezistențelor.

*Efectul magnetorezistiv* a fost evidențiat pentru prima oară de W. Thompson în 1856. Efectul constă în creșterea rezistenței electrice a unui corp introdus în câmp magnetic [5.21].

Variația relativă a rezistenței în câmp magnetic, pentru sonde de diferite forme, se prezintă în figura 5.44 [5.21].

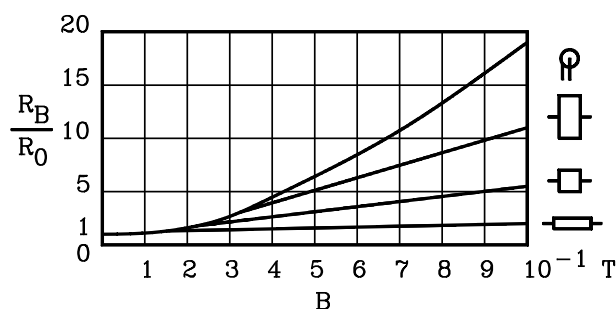


Fig.5.44 Variația rezistenței în câmp magnetic pentru sonde de diferite forme

În figura 5.45 este prezentată soluția principială a unui senzor tactil realizat pe principiul magnetorezistiv. Senzorul este compus din trei elemente:

- o rețea de sonde magnetorezistive (1) din permalloy (19 % Fe și 81 % Ni) a căror rezistivitate este de  $17 \Omega/\text{cm}$ . Variația maximă a rezistenței este de 3%.
- Sondele magnetorezistive sunt conectate într-o matrice rectangulară. Testarea unui punct de contact se realizează indicând linia și coloana din matrice.

- sursa de câmp magnetic (2) realizată sub forma unei folii magnetice având grosimea de  $25 \mu\text{m}$ . Materialul magnetului este Vicalloy .
- folie din polimer (3) plasată între elementele precedente.

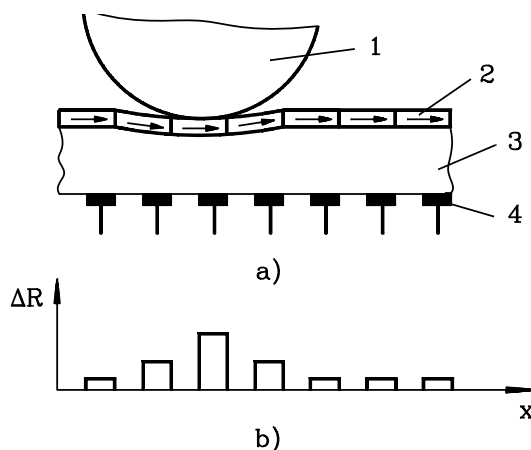


Fig.5.45 Senzor tactil: a) soluția principială; b) variația rezistenței (1-piesă; 2-folie magnetică; 3-folie din polimer; 4-magnetorezistențe)

Prin deformarea foliei din polimer se modifică poziția dipolilor magnetici față de magnetorezistențe rezultând o variație a acestora (fig.5.45b). Alimentând sonda magnetorezistivă cu un curent  $i_R$ , se poate măsura rezistența acesteia prin intermediul căderii

de tensiune. Tensiunea magnetorezistivă, definită ca fiind căderea de tensiune pe variația rezistenței sondei în câmp magnetic, poate fi măsurată cu un circuit în punte [5.2].

### 5.3.12. Senzori tactili termici

Senzorii tactili termici permit determinarea formei suprafeței de contact a unei piese și

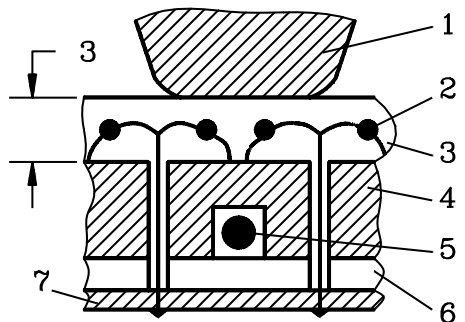


Fig.5.46 Senzor tactil termic (1-obiect; 2-termistor; 3-strat de cuplare termică; 4-strat intermediar; 5-sursă termică; 6-strat izolator; 7-placă cu circuite)

proprietățile termice ale materialului. Elementele componente ale senzorului sunt: o sursă termică, un material de conductivitate termică cunoscută și o rețea de termistoare (fig.5.46). Termistoarele (diametru 1 mm, rezistență 1500  $\Omega$  la 25<sup>o</sup> C) sunt poziționate cu un pas de 3 mm. Această valoare dă o densitate a punctelor de sensibilitate termică, de același ordin ca și a degetului uman. Termistorii au fost aleși pentru dimensiunea lor mică și inerția termică redusă [5.20]. Temperatura fiecărui termistor din rețea este citită secvențial prin intermediul circuitului electronic de multiplexare al senzorului (fig.5.47).

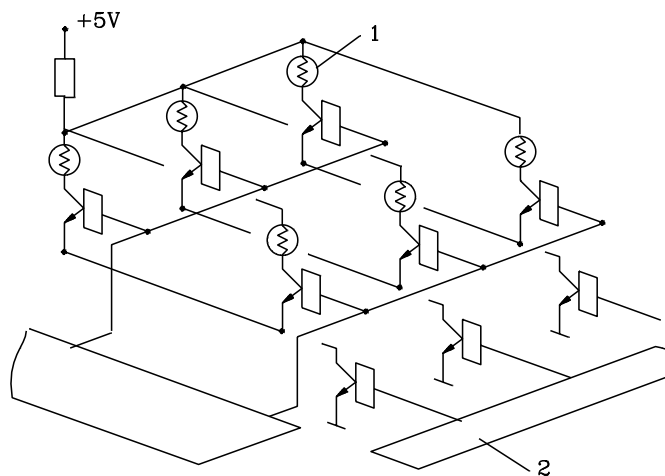


Fig.5.47 Circuitul electronic de multiplexare (1-termistor; 2-contor)

Contoarele Johnson selectează fiecare termistor pe rând, prin comutarea a două tranzistoare care "leagă" unul din capetele termistorului spre potențialul masei. Prin "citirea" tensiunii pe termistor poate fi calculată rezistența și deci temperatura. Căderea de tensiune pe termistor este "citită" de un convertor A / D de 12 bit și transferată într-un microcalculator pentru procesare. În absența piesei de recunoscut (1) stratul intermediar (4) și

stratul de cuplare termică (2) sunt la aceeași temperatură cunoscută. Prezența unei piese are ca efect modificarea prin conducție a temperaturii stratului de cuplare termică (2). Măsura variației temperaturii indică prezența obiectului. În același timp, din viteza de variație a temperaturii se poate determina clasa materialului piesei controlate.

### 5.3.13 Senzori tactili acustici

#### 5.3.13.1 Fenomenul acustic

În sens restrâns, acustica este partea din fizică în care se studiază producerea, propagarea, recepția și proprietățile sunetelor.

Sunetele sunt oscilații elastice care se datoresc vibrațiilor mecanice ale particulelor mediului. Propagarea oscilațiilor într-un mediu se face printr-o succesiune de comprimări și destinderi, amplitudinea unei comprimări fiind întotdeauna egală cu amplitudinea unei destinderi.

Luând în considerare frecvența oscilațiilor, sunetele se clasifică în :

- *infrasunetele* cu frecvența  $< 16$  Hz;
- *sunetele propriuzise* cu frecvența  $16 < f < 16$  kHz;
- *ultrasunetele* cu frecvența  $f > 16$  kHz

Aplicațiile practice ale undelor sonore sunt legate de proprietățile fizice ale mediului prin care ele se propagă precum și de acele fenomene care iau naștere în timpul propagării.

Viteza de propagare a undelor sonore este :

$$c = \lambda \cdot f = \frac{\lambda}{T} \quad (5.19)$$

unde  $f$  este frecvența iar  $T$  perioada undelor sonore.

În materiale solide, viteza de propagare a undelor sonore este dată de relația:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (5.20)$$

unde  $E$  este modulul de elasticitate al materialului iar  $\rho$  este densitatea materialului.

O undă care se propagă poartă cu sine o anumită energie pe direcția ei de deplasare. Această energie se atenuează pe măsura propagării în mediu. Absorbția unei sonore este condiționată de vâscozitatea, conductibilitatea termică și absorbția moleculară a mediului.

Absorbția undelor sonore în diferite medii are expresia:

$$I = I_0 \cdot e^{-ax} \quad (5.21)$$

unde  $I_0$  este intensitatea unei incidente,  $x$  este distanța față de sursă,  $a$  este un factor dependent de mediu și frecvența  $f$  având expresia:

- a) pentru lichide și gaze :  $a = \alpha f^2$ ;
- b) pentru solide :  $a = \alpha f$

Când sunetele se propagă printr-un mediu, ele suferă reflexii, refracții, difracții, interferențe și alte fenomene caracteristice pentru mișcarea ondulatorie.

Coeficientul de reflexie al undelor sonore, la limita de separație a două medii și în cazul unei incidente normale a unei, se determină cu relația:

$$R = \frac{\rho_1 c_1 - \rho_2 c_2}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2} \quad (5.22)$$

unde: -  $\rho_1, \rho_2$  sunt densitățile celor două medii;

-  $c_1, c_2$  sunt vitezele de propagare a sunetelor în aceste medii.

Intensitatea undei reflectate, în cazul incidenței la limita de separație a două medii, este dată de formula:

$$I = I_0 \cdot \left( \frac{\rho_1 c_1 - \rho_2 c_2}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2} \right)^2 \quad (5.23)$$

*Difracția* undelor sonore este abaterea, de la direcția lor de propagare, provocată de obstacolele întâlnite în drum.

*Interferența* undelor sonore este fenomenul de suprapunere a mai multor oscilații care se propagă într-un mediu, concomitent și independent una de alta.

Sursa de sunete nu este niciodată un punct. Din acest motiv repartizarea energiei și a intensității sonore în spațiu nu are, în practică, o simetrie sferică. Determinant în privința formei câmpului sonor este raportul dintre dimensiunile sursei și lungimea de unda corespunzătoare undelor emise.

O primă posibilitate de obținere a ultrasunetelor o constituie materialele piezoelectrice prin *fenomenul piezoelectric invers*. Dacă aducem în contact cele două fețe ale unui cristal de cuarț piezoelectric (de exemplu) cu armăturile unui condensator electric plan, între care se stabilește o diferență de potențial, pe fețele lamei apar sarcini electrice și lama se deformează comprimându-se sau dilatându-se. Dacă condensatorul se găsește într-un circuit de curent de înaltă frecvență, polaritatea electrică a armăturilor variază periodic cu aceeași frecvență. Acest lucru produce deplasări ale fețelor lamei de cuarț (perpendicular pe direcția armăturilor) cu o frecvență egală cu frecvența oscilațiilor circuitului electric. Oscilațiile mecanice se transmit mediului sub forma de unde ultrasonice.

O altă posibilitate de obținere a undelor sonore este oferită de *efectul magnetostrictiv*. O bară feromagnetică introdusă într-un câmp magnetic alternativ se lungeste (sau se scurtează) și revine la dimensiunile inițiale periodic. Oscilațiile mecanice ale barei se transmit în mediul înconjurător sub formă de unde. Pentru a asigura funcționarea în domeniul de proporționalitate între deformare și câmpul magnetic, bara este premagnetizată printr-un câmp magnetic constant, peste care se suprapune câmpul periodic (fig.5.48).

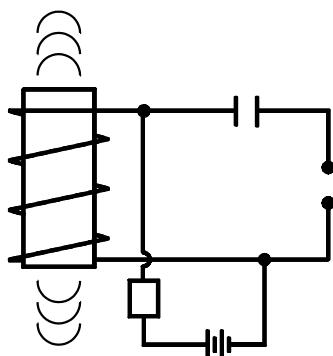


Fig.5.48 Schema principială de obținere a undelor acustice

### 5.3.13.2 Variante de senzori tactili acustici

Schemele principale a unor senzori acustici sunt prezentate în figura 5.49. În primul caz senzorul este compus dintr-un emițător "E" de unde sonore și un receptor "R". Undele acustice emise de "E" la un moment  $t_0$ , sunt recepționate de receptorul "R" la momentul  $t_1$ . Pe baza diferenței de timp  $\Delta t = t_1 - t_0$  se obține informația despre distanța "d" :

$$d = C \cdot \frac{(t_1 - t_0)}{2} \quad (5.24)$$

În al doilea caz drept receptor este folosit însuși emițătorul. Funcționarea se bazează în acest caz pe fenomenul de interferență.