

## **CAP. 5 SENZORI TACTILI**

### **5.1. Introducere**

Având în vedere “influența” modelului biomecanic al operatorului uman (OU), asupra realizării globale a robotului industrial (RI), se poate spune că senzorii tactili imită posibilitățile senzitive ale mâinii umane, într-o activitate din mediul înconjurător.

Senzorii tactili sunt localizați la nivelul efectorului robotului industrial.

### **5.2. Mâna umană, organ al sensibilității**

Multiplele posibilități de mișcare de care dispune mâna umană, fac din ea un veritabil mijloc de exprimare. Ca ritm, de exemplu, mâna stângă a unui virtuos al vioii, este capabilă să efectueze 580 atingeri ale coardelor, într-un minut, iar ca intensitate este capabilă să efectueze 1180 de nivele de atingere, presiunea exercitată de degete pe corzi variind între 1N și 5N [5.1].

Dintre funcțiile senzoriale ale mâinii sunt de reținut aprecierea formei și volumului obiectelor, aprecierea greutateii obiectelor și aprecierea preciziei mișcărilor. Posibilitățile multiple ale mâinii umane au determinat ca suprafața de proiectare pe scoarța cerebrală să reprezinte practic o treime din întreaga suprafață corticală. Calități senzoriale prezintă nu numai mâna în totalitate ci și fiecare deget în parte. De exemplu policele, datorită mișcărilor de opoziție de care dispune, este degetul care realizează forma principală a prehensiunii asigurând 60 % din capacitatea funcțională a mâinii. Indexul este atât deget de forță cât și tactil permițând sesizarea formei obiectelor.

Receptorul analizatorului cutanat al (OU) este constituit din terminațiile nervoase libere din epidermă, și terminațiile nervoase încapsulate, plasate în derm și hipoderm și adaptate sensibilității tactile sau sensibilității termice [5.3].

Pielea umană se compară ca un material feroelectric: piezoelectric și piroelectric în același timp.

Sensibilitatea pielii umane este funcție de localizarea pe corp. Pe “pulpa” degetului sensibilitatea este de  $2\text{mg/mm}^2$  în timp ce pe suprafața dorsală a degetelor atinge  $15\text{mg/mm}^2$  [5.2]

Rezoluția percepției tactile poate varia de la 2 mm până la câțiva centimetri în regiunile mai puțin sensibile.

Senzorii tactili naturali au o importanță vitală pentru realizarea unor senzori artificiali.

### **5.3. Senzori tactili. Construcție și funcționare**

#### **5.3.1 Generalități**

Problemele rezolvate cu ajutorul senzorilor tactili pot fi concretizate prin următoarele idei [5.4]:

- determinarea existenței contactului efector piesa prehensată;
- determinarea coordonatelor și suprafeței de contact;

- măsurarea forței de prehensare;
- înregistrarea distribuției efortului pe bacul efectorului;
- determinarea orientării piesei prehensate;
- determinarea alunecării piesei între bacurile dispozitivului de prehensiune;
- determinarea proprietăților mecanice a pieselor prhensate pe baza deformațiilor acestora.

Prin caracterul parametrilor mășurați în urma contactului piesă – bacul efectorului, senzorii tactili pot fi grupați în trei grupe: senzori de contact (existență), senzori (cantitativi) pentru determinarea presiunii de contact și senzori de alunecare.

În [5.5] senzorii tactili sunt clasificați în trei categorii:

- pentru determinarea forței de alunecare  $F_t$ ;
- pentru determinarea momentului de torsiune  $M_t$ ;
- pentru determinarea forței normale.

Pentru a fi eficace, senzorii tactili trebuie să posede următoarele caracteristici [5.2]:

- asigurarea unei rezoluții spațiale de minimum 2 mm;
- asigurarea unei informații stabile;
- să fie adaptabili și robuști;
- să fie adaptabili la o suprafață oarecare;
- să prezinte liniaritate medie;
- să prezinte histereză redusă.

Modul de realizare practică a acestor senzori este să fie sub o formă individuală, fie sub o formă matricială.

Capacitatea informațională cea mai mare o au senzorii matriciali. Informația poate fi obținută [5.2]:

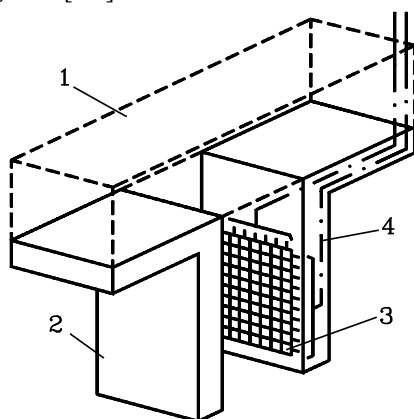


Fig.5.1 Locul matricii senzoriale (1 – efector; 2 – bac; 3 – matrice senzorială; 4 – cale de informație

- printr-un ansamblu de celule elementare dispuse în matrice;
- printr-o linie informațională analizată secvențial;
- printr-o tehnică ce livrează informațiile simultan (fig.5.1).

Problemele ce urmează a se rezolva cu ajutorul senzorilor tactili impun utilizarea unor anumite elemente senzoriale dispuse în anumite configurații și proporții.

Dacă problema de rezolvat constă din determinarea existenței piesei între bacurile dispozitivului de prehensiune, senzorul tactil prezintă o configurație simplă cu un număr minim de elemente.

Problema devine mai complicată dacă este necesară determinarea stabilității piesei între bacurile dispozitivului de prehensiune

(DP). Prezența piesei poate fi controlată ușor așa cum arătam anterior. Piesa se poate

deplasa însă între bacurile (DP) printr-o mișcare paralelă (pe două direcții) sau se poate roti în jurul unei axe. Sunt necesare astfel elemente senzoriale diferite pentru a sesiza aceste informații.

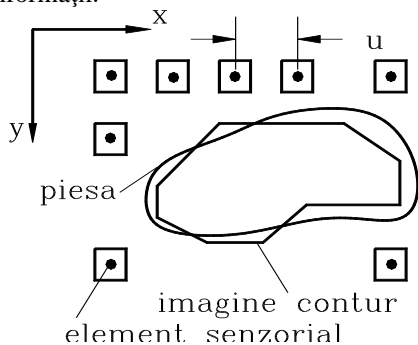


Fig.5.2 Piesa și imaginea sa tactilă

Senzorii utilizați pentru determinarea formei pieselor impun de asemenea condiții diferite față de cei pentru măsurarea forțelor de prehensare (de ex.). Acești senzori de "formă" trebuie să aibă o sensibilitate ridicată, influențată de dimensiunea elementului sensibil și parametrul "u" ce determină rezoluția  $\frac{1}{u}$  a sensorului (fig.5.2).

În figura 5.3 sunt prezentate elementele senzoriale de diferite suprafețe care au fost utilizate în obținerea formei pieselor [5.6].

Considerând un obiect de arie "A" pentru care

s-a obținut o imagine  $I = I_i + I_0$ , eroarea procentuală de acoperire este (fig.5.4):

$$\varepsilon = \frac{I_i + I_0 - A}{A} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5.1)$$

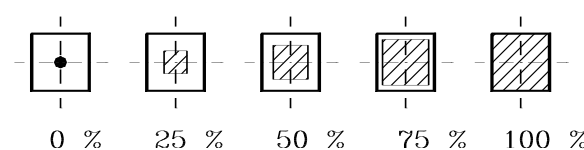


Fig.5.3 Suprafețele relative ale elementului senzorial

Variația erorii procentuale funcție de aria relativă a elementului senzorial (ARS %) este prezentată în figura 5.5. Se remarcă astfel că optimul este atins pentru ARS % = 50 %.

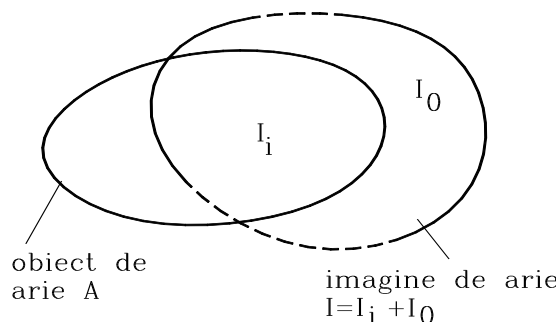


Fig.5.4 Calculul erorii de acoperire

Principiile fizice de realizare a acestor senzori sunt cele clasice de măsurare a forței, de proximitate, optice etc.

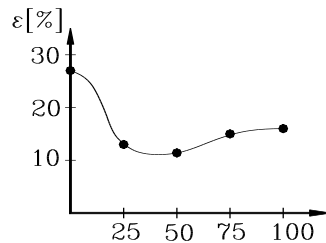


Fig.5.5 Eroarea procentuală de acoperire

### 5.3.2 Senzori tactili magnetoelastici

Senzorii tactili magnetoelastici se bazează în principal pe determinarea unei forțe pornind de la fenomenul magnetoelastic [5.10]. Se înțelege prin fenomenul *magnetoelastic* influența deformațiilor elastice a unui element sensibil feromagnetic asupra magnetizării acestuia. Principiul de funcționare a senzorului magnetoelastic este prezentat în figura 5.6.

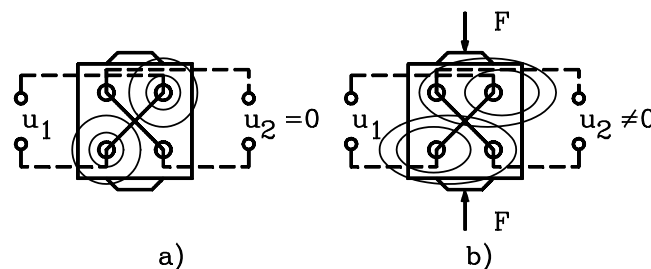


Fig.5.6 Principiul de funcționare al senzorului magnetoelastic

Dacă se aplică înfășurării primare o tensiune alternativă " $u_1$ ", în miezul feromagnetic fără solicitare mecanică (fig.5.6a) liniile de câmp sunt circulare fără să străpungă planul înfășurării secundare astfel că " $u_2$ " = 0 . Dacă asupra miezului feromagnetic acționează forța  $F$ , liniile de câmp suferă o distorsionare (fig.5.6b) străbătând planul înfășurării secundare astfel că " $u_2$ "  $\neq$  0.

În figura 5.7 se prezintă schema electrică de principiu a unei matrici senzoriale magnetoelastice (16 x 16) iar dispunerea traductoarelor magnetoelastice în matricea senzorială este prezentată în figura 5.8 (A - distanța între centrele a două elemente senzoriale; L - lățimea unui element senzorial; H - distanța pe verticală între centrele a două elemente senzoriale;  $\alpha$  - unghiul de înclinare a elementului senzorial).

Rezoluția matricii senzoriale este determinată de unghiul  $\alpha$ . Pentru modelul realizat unghiul este  $\alpha = 45^\circ$ . Încercările experimentale au condus la concluzia că înfășurarea primară trebuie alimentată la curenți relativ reduși 20-30 mA și frecvență înaltă (20 kHz). În acest mod au fost reduse semnalele parazite.

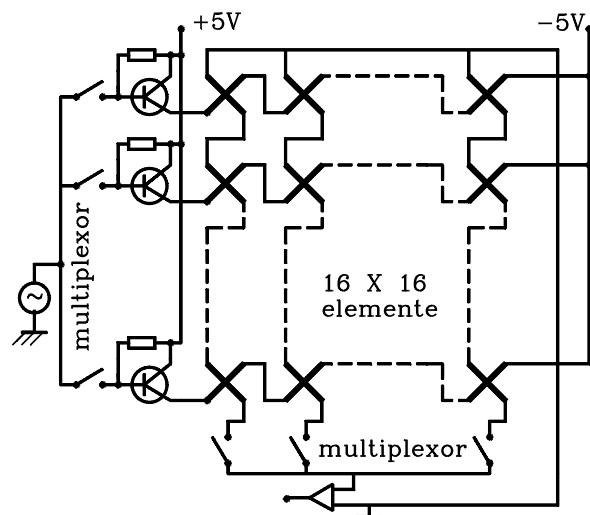


Fig.5.7 Schema electrică de principiu a matricii senzoriale

Relațiile de legătură între parametrii metrici  $A$ ,  $H$ ,  $L$ ,  $\alpha$  sunt:

$$A = L \cdot \cos\alpha$$

$$H = A \cdot \sin(90 - \alpha) \quad (5.2)$$

$$\cos\alpha = \sqrt{\frac{H}{L}}$$

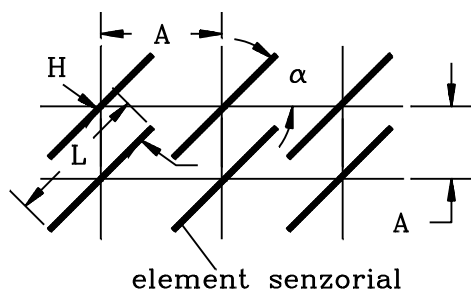


Fig.5.8 Aranjarea traductoarelor în matricea senzorială

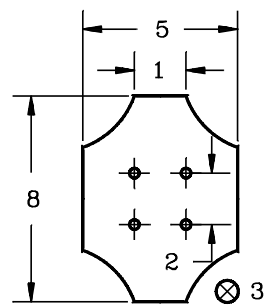


Fig.5.9 Gabaritul elementului sensibil

Senzorul magnetoelastic folosit în matrice a fost realizat dintr-un aliaj pe bază de Fe și Ni (Vitrovac 4040) având forma și dimensiunile din figura 5.9.

Senzorul magnetoelastic realizat a prezentat o caracteristică liniară cu histereză redusă și o eroare scăzută datorită temperaturii. Sensibilitatea senzorului pe intervalul 0 – 1N a fost de 0.6 mV/mN.

Aspectul mecanic al matricii senzoriale este prezentat în figura 5.10. Rezultatele experimentale privind recunoașterea unei piese paralelipipedice și a unei piulițe sunt prezentate în figura 5.11.

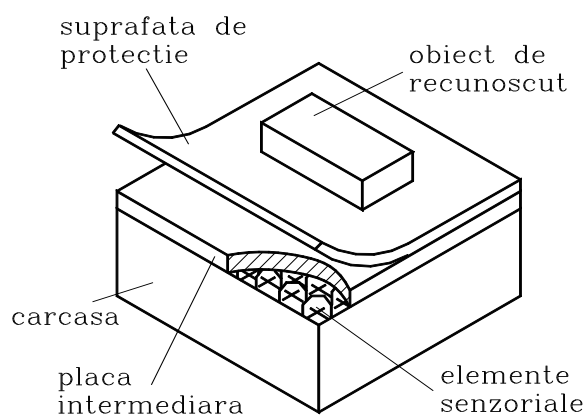


Fig.5.10 Aspectul structurii mecanice pentru matricea senzorială

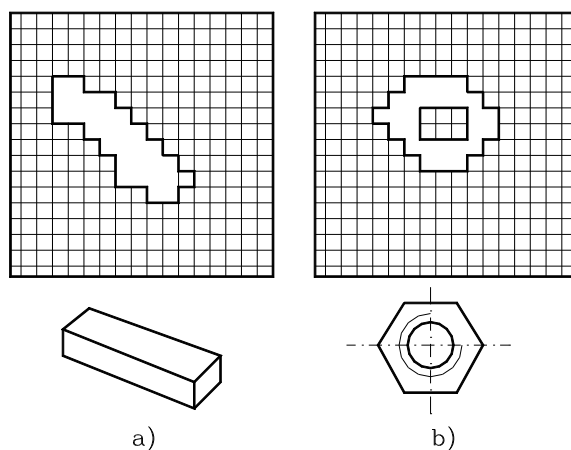


Fig.5.11 Piese și imaginile senzoriale

La utilizarea unor senzori magnetoelastici trebuie să se țină cont de influența temperaturii asupra caracteristicii.

### 5.3.3 Senzori piezoelectrics

Senzorii tactili piezoelectrics își bazează funcționarea pe fenomenul *piezoelectric* : apariția unei polarizări electrice pe suprafața unui cristal sau polimer atunci când asupra acestuia acționează o forță  $F$  (vezi cap.4).

Pe baza celor prezentate anterior a fost realizat un senzor tactil folosit pentru a determina poziția de contact, presiunea de contact și distribuția acesteia.

Ținând cont de fenomenul piezoelectric și solicitarea mecanică pentru un piezoelement echivalat cu o capacitate plană, se poate scrie:

$$U = \frac{d \cdot h}{\varepsilon} \cdot \sigma \quad (5.3)$$

unde  $\sigma$  [N/mm<sup>2</sup>] este efortul mecanic în piezoelement,  $\varepsilon$  [F/m] este permitivitatea materialului,  $h$  [m] este grosimea piezoelementului,  $d$  [C/N] este constanta piezoelectrică.

Structura elementului senzitiv piezoelectric este prezentată în figura 5.12. Pentru această structură se poate defini ecuația caracteristică a stratului piezoelectric:

$$U = \frac{Q}{C} \quad (5.4)$$

unde  $Q$  [C/m<sup>2</sup>] este sarcina pe unitatea de suprafață iar  $C$  [F/m<sup>2</sup>] este capacitatea pe unitatea de suprafață.

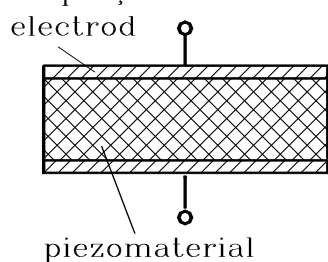


Fig.5.12 Element senzitiv piezoelectric

În aceste ecuații relația (5.3) devine:

$$Q = d \cdot \sigma \quad (5.5)$$

Caracteristica dinamică a stratului piezoelectric este reprezentată prin:

$$u(t) = \frac{d}{C} \cdot \sigma(t_0) - \frac{1}{C} \cdot \int_{t_0}^t i dt \quad (5.6)$$

unde  $i$  [A] este curentul electric în circuitul de ieșire al piezoelementului și:

$$u(t_0) = \frac{d}{C} \cdot \sigma(t_0) \quad (5.7)$$

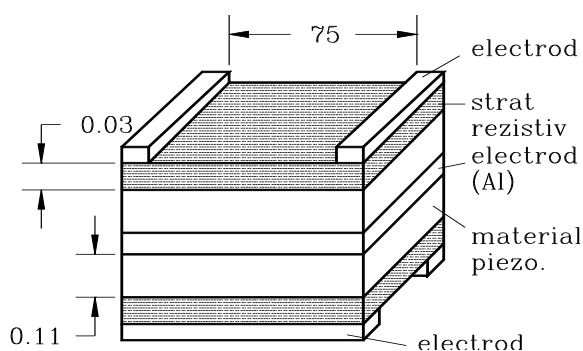


Fig.5.13 Senzor tactil piezoelectric

În figura 5.13 este prezentată structura propusă pentru senzorul tactil. Senzorul este compus din 5 straturi și 5 electrozi. Doi electrozi (din aluminiu) sunt paraleli cu axa X iar alți 2 electrozi sunt paraleli cu axa Y. Grosimea senzorului prototip este aproximativ 300 μm. Rezistența electrică între electrozi este 845 Ω. Materialul piezoelectric are parametrii :

$$\varepsilon = 1.59 \cdot 10^{-10} \text{ F/m}, d_{31} = 35 \cdot 10^{-12} \text{ C/N}, d_{33} = -1.5 \cdot 10^{-12} \text{ C/N} \text{ și } C = \frac{\varepsilon}{h} = 1.45 \cdot 10^{-6} \text{ F/m}^2$$

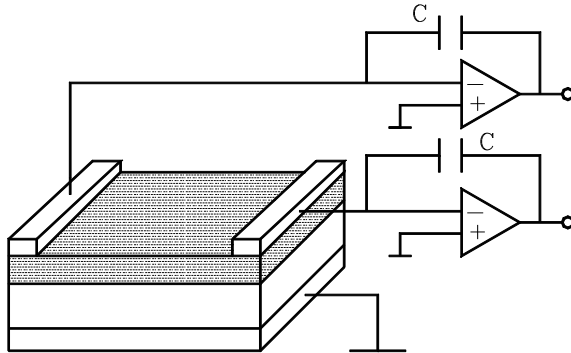


Fig.5.14 Schema electrică principală a circuitului de măsurare

Metoda de măsurare este prezentată în figura 5.14. Sarcina electrică generată este stocată în capacitatea atașată amplificatorului operațional și oferă informația privind forța aplicată.

Definirea sistemului de coordonate și modelul analitic al senzorului tactil sunt prezentate în figura 5.15. "R" reprezintă rezistența unui strat rezistor între electrozii structurii superioare.

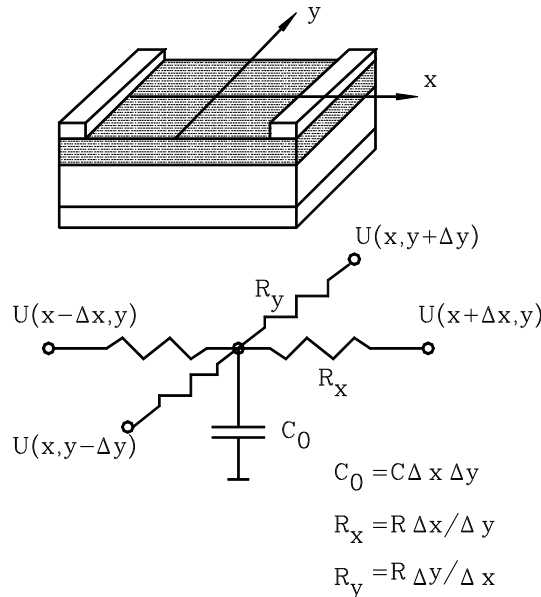


Fig.5.15 Modelul analitic al senzorului tactil piezoelectric

Sarcina electrică  $Q(x,y,t)$  [în punctul de coordonate  $(x,y)$  la momentul  $t = t(s)$  și curenții electrici  $I_x(x, y, t)$ ,  $I_y(x, y, t)$  [între punctele  $(x,y)$  și  $(x + \Delta x, y)$  respectiv  $(x, y + \Delta y)$ ] sunt definiți prin relațiile:

$$Q(x, y, t) = C \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot U(x, y, t) \tag{5.8}$$

$$I_x(x, y, t) = - \left( R \cdot \frac{\Delta x}{\Delta y} \right)^{-1} \cdot [U(x + \Delta x, y, t) - U(x, y, t)] \tag{5.9}$$