

CAP.6 SENZORI DE DETECTIE ÎN CONSTRUCȚIA ROBOTILOR INDUSTRIALI

6.1 Generalități

Senzorii de detecție (localizare) reprezintă o posibilitate de realizare a sistemului informațional al robotului industrial (RI). Acești senzori permit obținerea unor informații privind caracteristicile, starea obiectelor de manipulat și a mediului tehnologic, asigură și garantează mișcarea RI într-un mediu cu obstacole. Senzorii de detecție permit măsurarea diversilor parametri: distanța până la obiecte, viteza, dimensiunile și localizarea acestora. Acești senzori permit obținerea de informații privind parametri mecanici, electrici, acustici etc. ale obiectelor din mediul tehnologic. Ca și parametrii suplimentari pot fi incluși măsurarea unui rost (intrefier), mărimea unei deformații, alunecări, defecte interioare ale unor piese, grosimi de material etc.

Obținerea acestor informații se poate realiza prin diverse metode: acustice, magnetice, optice, radiație, electrice, pneumatice, electromagnetice etc. Construcția unor senzori realizați pe aceste principii au fost prezentați în [6.6].

6.2 Senzori de locație acustici

6.2.1 Senzori acustici pentru măsurarea distanțelor.

Senzorii de locație acustici au calități superioare celor optici impunându-se într-o serie de aplicații. Acești senzori sunt recomandabili la aplicații în medii gazoase și în condiții grele sau care exclud utilizarea fenomenului optic (prezența aburilor sau prafului, perturbații optice de la sudură prin arc electric etc.).

Metoda de localizare acustică permite obținerea unor informații despre mediul de lucru în următoarele intervale:

- distanțe: 2 - 2000 mm în aer; 0.5 - 10000 mm în apă; eroare 2 % ;
- viteză de deplasare: 2 mm/s în aer; 10 mm/s în apă; eroare 2 %

Câteva elemente teoretice privind undele sonore au fost prezentate în capitolul 5. Se impun totuși câteva precizări suplimentare privind această aplicație a elementelor senzoriale acustice.

Prin măsurarea timpului "T" scurs între emiterea semnalului sonor și recepționarea ecoului, de la obiectul controlat, se poate determina distanța "L" prin formula:

$$L = \frac{C \cdot T}{2} \quad (6.1)$$

unde "C" este viteza sunetului în aer, și dependența de temperatură $t[^\circ\text{C}]$ prin relația:

$$C = 331.5 + 0.61 \cdot t \quad [m / s] \quad (6.2)$$

Principiul de măsurare este ilustrat în figura 6.1.

Poziția unui punct al obiectului "3" în raport cu un sistem de coordonate atașat unui RI cu 6 grade de mobilitate este:

$$\bar{r} = \bar{h}(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6) + \bar{b}(\phi_x, \phi_y, \phi_z, l) \quad (6.3)$$

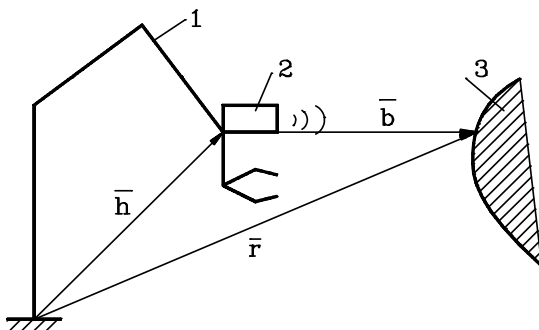


Fig.6.1 Principiul de măsurare acustică a distanței:
1- RI; 2- senzor; 3-obiect;

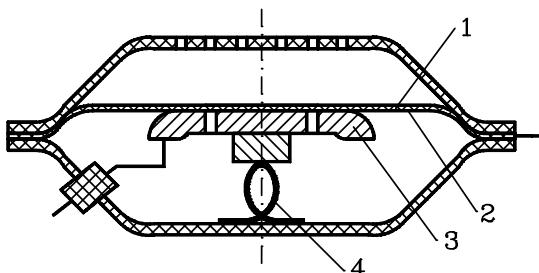


Fig.6.2 Elementele componente ale unui senzor acustic: 1-armătura mobilă; 2-armătura fixă; 3-folie izolantă elastică; 4-arc

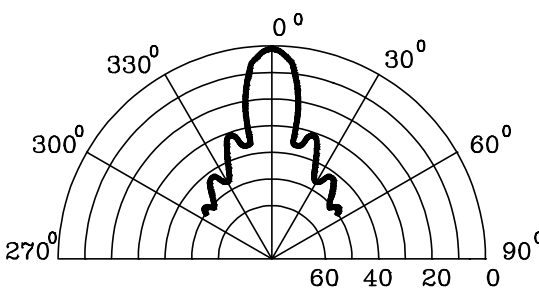


Fig.6.3. Diagrama de directivitate a senzorului

unde: h - este vectorul de poziție al senzorului funcție de coordonatele generalizate ale RI; b - este vectorul de poziție al unui punct al obiectului analizat față de senzor, funcție de unghiul ϕ_x, ϕ_y, ϕ_z ; l - este distanța de la senzor la obiect.

Obținând pe baza senzorului acustic informația privind distanța " l " până la un obstacol (piesa), se poate determina simplu și poziția acestuia față de RI.

Elementele componente ale unui senzor acustic, de tip electrostatic capacitiv, pentru măsurarea cu o precizie de 1 mm a distanțelor cuprinse între 20 cm și 2 m sunt prezentate în figura 6.2. Senzorul funcționează ca un difuzor în modul de emisie și ca un microfon în modul de recepție. Diametrul senzorului este de 38.1 mm și are ca element de bază (armătura mobilă a unui condensator) o folie de material plastic (1) placată cu aur având grosimea de 0.07 mm lipită pe o placă de aluminiu. Folia trebuie să fie elastică, plană, ușoară și foarte subțire. Ea este cea care convertește energia electrică în ultrasunete și ecoul în energie electrică. Dielectricul trebuie să suporte tensiuni înalte fără a străpunge.

Principiul de funcționare a senzorului ca *emitor* este următorul: între armăturile (1) și (2) ale condensatorului se aplică semnalul electric corespunzător semnalului acustic ce trebuie produs iar atracția armăturilor (armătura "1" fiind mobilă vibrează) corespunde forțelor electrostatice datorate prezenței sarcinilor electrice pe

acestea.

Principiul de funcționare a senzorului ca *receptor* se bazează pe variația capacității condensatorului menționat în funcție de presiunea acustică a ecoului.

Directivitatea emisiunii în general pentru o sursă sonoră este cu atât mai bună cu cât raportul d/λ (d -dimensiunea sursei; λ -lungimea de undă) este mai mare. Diagrama de directivitate a sensorului este prezentată în figura 6.3.

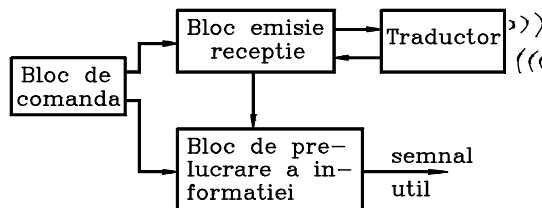


Fig.6.4 Schema bloc funcțională a sensorului ultrasonic.

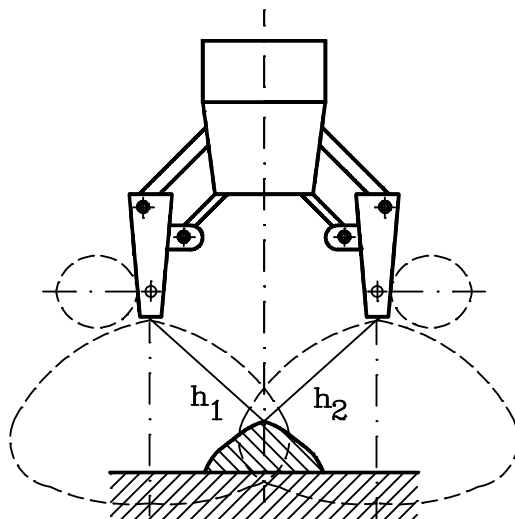


Fig.6.5. Utilizarea senzorilor acustici la efectorul unui robot industrial

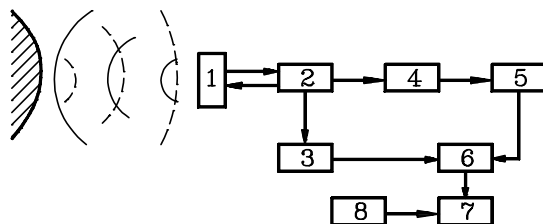


Fig.6.6 Schema bloc funcțională a sensorului acustic

Schema bloc funcțională este prezentată în figura 6.4. Pe durata de 1 ms, blocul de comandă emite un tren de impulsuri de frecvență 50 kHz. Acestea sunt transformate în ultrasunete de blocul emisie - recepție. La recepționarea ecoului, ultrasunetele sunt transformate de blocul emisie - recepție în semnale electrice prelucrate de blocul de prelucrare a informației. Se înregistrează timpul scurs până la recepționarea ecoului.

În SUA au fost utilizați senzori acustici în dotarea roboților industriali pentru montaj. Regimul de lucru a fost stabilit pentru o frecvență de 270 kHz și o distanță de acțiune maximă de 3 m.

Utilizarea unor senzori acustici în efectorul unui RI este exemplificată în figura 6.5. Pe fiecare "deget" sunt montați 2 senzori. Senzorii frontali în afară de măsurarea distanței până la obiect permit dirijarea precisă a axei efectorului deasupra obiectului de prehensat. La egalitatea distanțelor h_1 și h_2 axa efectorului se suprapune cu axa obiectului (de formă regulată). Schema funcțională pentru senzorul analizat este prezentată în figura 6.6. Generatorul (3) formează impulsuri scurte de tensiune care sunt aplicate, prin intermediul comutatorului (2), sensorului ultrasonic (1). Acest senzor este realizat pe principiul microfonului electrostatic. Vibrațiile membranei, datorate variației intensității câmpului electric, generează ultrasunete care sunt emise în spațiu. După reflexia pe obiectele din spațiul de lucru, ecoul ultrasonor este

recepționat de senzorul ultrasonic funcționând ca și microfon. Preamplificatorul (4) (montat în bacul efectorului final) transmite impulsurile rezultate amplificatorului (5) și apoi convertorului

(6), rezultând un semnal modulat în frecvență. Durata acestui impuls este proporțională cu distanța până la obiect. Pragul de sensibilitate este determinat de durata impulsului etalon al generatorului (8) cu care se compară impulsul rezultat în blocul (7). Domeniul de măsurare al sensorului este 10 - 300 mm, frecvența de lucru 35 kHz și unghiul diagramei de directivitate de până la 60°

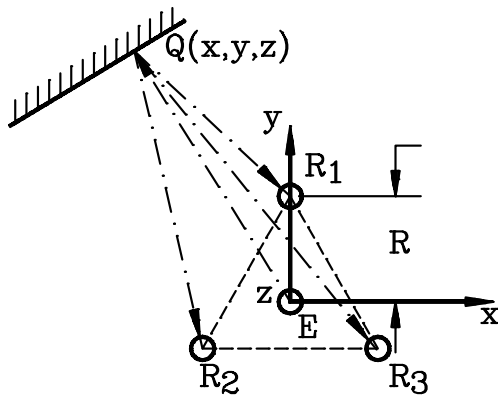


Fig.6.7 Structura unui sistem senzorial acustic: E-emitor; R₁, R₂, R₃-receptor

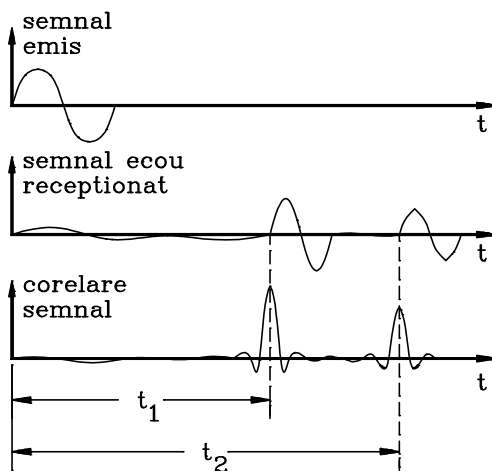


Fig.6.8. Corelarea semnal acustic emis - ecou recepționat (t₁, t₂- intervalul de timp emisie – recepție pe cele 2 obstacole)

$$z = \sqrt{d_2^2 - x^2 - (y - R)^2} \tag{6.6}$$

Structura unui sistem senzorial de detectare ultrasonică a obstacolelor (bazat pe metoda triangulației) este prezentat în figura 6.7.[6.7]. Emitorul (E) de unde ultrasonore este poziționat în centrul de greutate al unui triunghi echilateral ce are în vârfuri cele 3 elemente receptoare (R₁, R₂, R₃). Toți acești senzori sunt orientați în aceeași direcție perpendiculară pe planul format de ei. Semnalul emitor este emis într-un interval de timp specific. Ecoul semnal la cele 3 receptoare este păstrat în memorie pentru calcule ulterioare, în vederea corelării cu semnalul emitor. Corelarea între semnalul emis și semnalul recepționat de la 2 obstacole este prezentată în figura 6.8.

Coordonatele unui obstacol față de sistemul de coordonate poziționat în centrul de greutate al triunghiului se definesc doar pentru un obiect punctual. Un obstacol se poate considera o reuniune de obiecte punctuale. Se consideră că fiecare obiect punctual prezintă o suprafață elementară perpendiculară pe raza unei incidente.

Fie Q(x,y,z) un "obiect punctual" ce urmează a fi detectat iar "R" distanța dintre emitor și receptor. Considerând "d" distanța dintre emitorul (E) și punctul Q, iar "d_i" - distanțele de la punctul Q la cele 3 receptoare (R_i) (i = 1, 2, 3), coordonatele (x,y,z) se determină prin relațiile:

$$x = \frac{d_3^2 - d_1^2}{2\sqrt{3} R} \tag{6.4}$$

$$y = \frac{d_1^2 + d_3^2}{6R} - \frac{d_2^2}{3R} \tag{6.5}$$

$$d_i = (d + d_i) - d \quad (i = 1, 2, 3) \quad (6.7)$$

$$d = \frac{\Sigma(d + d_i)^2 - 3R^2}{2 \cdot \Sigma(d + d_i)} \quad (6.8)$$

O altă formulare a problemei este determinarea poziției obstacolului prin distanța "d", unghiul azimut "α" și unghiul elevatie "β" [6.7]:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{x}{z}\right) \quad (6.9)$$

$$\beta = \arctg\left(\frac{y}{\sqrt{x^2 + z^2}}\right) \quad (6.10)$$

Roboții industriali pot acționa într-un mediu tehnologic necunoscut sau parțial necunoscut. Se impune astfel observarea spațiului pe baza unor senzori telemetrici. Se determină forma, mărimea și orientarea obiectelor din raza de "vedere" a robotului. În vederea stocării și prelucrării informațiilor furnizate de senzori, spațiul este discretizat într-o rețea de noduri matriceală.

În figura 6.9 se prezintă spațiul obiect și proiecția într-un plan a zonei de locație a unui obstacol. Emitorul este compus din 21 senzori ultrasonici dispuși într-o matrice cu un pas de 8.5 mm [6.8] (fig.6.10).

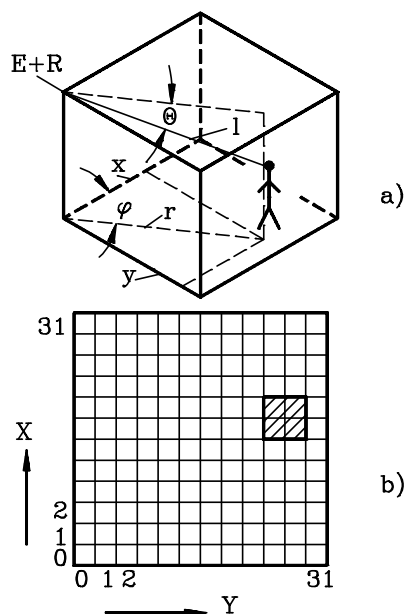


Fig.6.9 Zona de locație: a - spațiul obiect b - proiecția discretizată a spațiului obiect

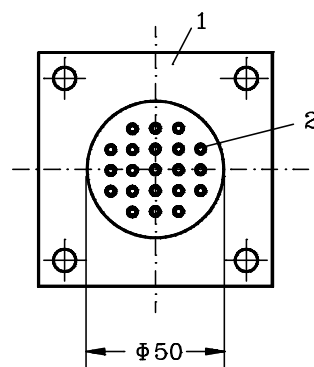


Fig.6.10 Emitor: 1- carcasa; 2-senzor

b) Principiul recunoașterii ultrasonice a mediului (pentru un spațiu obiect 4 x 4 x 2.5) se bazează pe următoarele:

- semnalul ultrasonic emis de emitorul (E) se reflectă pe suprafața obiectului iar ecoul este recepționat de receptorul (R);
- localizarea obiectului se calculează pentru anumite unghiuri de transmitere a semnalului ultrasonic și a timpului "t" de "răspuns" al ecoului.

Unda ultrasonică emisă este reflectată de un punct arbitrar al obstacolului. Fie " θ " și " φ " unghiurile de transmitere și " c " viteza sunetului în aer. Distanța " l " pînă la obiectul punctual P și localizarea (x, y) prin ecou a acestuia, funcție de timpul " t ", sunt descrise prin ecuațiile:

$$l = \frac{c \cdot t}{2} \tag{6.11}$$

$$r = l \cdot \cos \theta \tag{6.12}$$

$$x = r \cdot \cos \Phi \tag{6.13}$$

$$y = r \cdot \sin \Phi \tag{6.14}$$

- ecoul individual de localizare corespunde unui pixel într-o proiecție binară a imaginii ("imaginea ecou") de 32 x 32 pixels. Coordonata fiecărui pixel în imaginea ecou este reprezentată de aceea a centrului fiecărei secțiuni din cele 32 x 32 de secțiuni de divizare a bazei spațiului obiect. Coordonatele X și Y sunt date de ecuațiile:

$$X = \left[\frac{x}{12.5} \right]$$

$$Y = \left[\frac{y}{12.5} \right]$$

unde $[u]$ este partea întreagă a lui " u ". Dacă se impune o rezoluție și mai bună, baza trebuie divizată în secțiuni și mai mici;

- obținerea imaginii ecou se bazează pe transmiterea undelor ultrasonice în tot spațiul obiect printr-o scanare bidimensională;

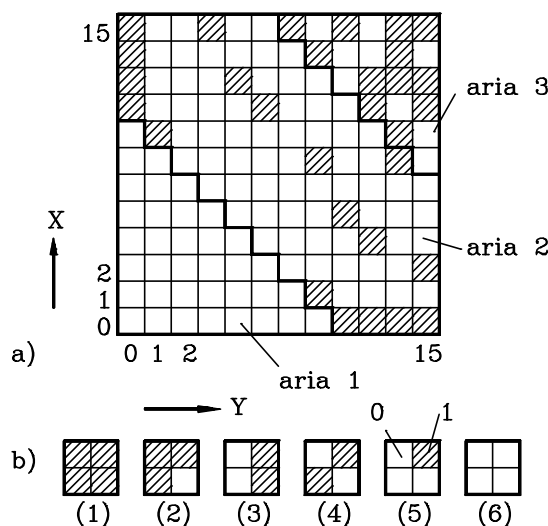


Fig.6.11 Algoritm de recunoaștere a unui obiect punctual: a - imagine ecou; b - fereastra 2 x 2 pixel

- distribuirea obiectelor punctuale, din "imaginea ecou", este recunoscută printr-o examinare locală într-o fereastră de 3 x 3 pixels și funcția pondere determinată de distanța la fiecare pixel a imaginii ecou de la poziția de transmitere. Pentru a simplifica procedeul de recunoaștere a obiectului punctual se prezintă o imagine ecou într-o proiecție de 16 x 16 pixels (în loc de 32 x 32) (fig.6.11a) cu o fereastră de recunoaștere de 2 x 2 pixels (în loc de 3 x 3 pixels)(fig6.11b).

În imaginea ecou pot să apară pixels goi "0" care nu corespund nici unui ecou de localizare. Modelul local binar poate fi clasificat în 6 categorii. În cazurile (1), (2) și (3) sistemul decide că un obiect punctual există. În cazul

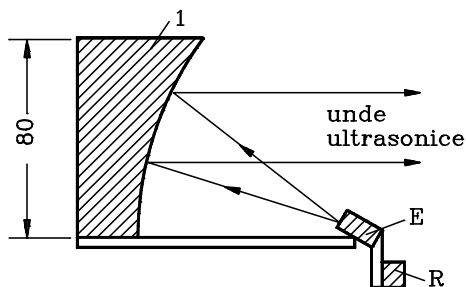


Fig.6.12 Configurația emitor - receptor

(6) sistemul abandonează examinarea. În cazul (4) și (5) recunoașterea este decisă de o funcție pondere. Dacă modelul apare în "aria 3" sistemul decide că există obiect. Dacă modelul apare în "aria 1 și 2" sistemul decide printr-o examinare într-o fereastră mai largă. Sistemul senzorial este compus din doi senzori ultrasonici matriciali identici. Emitorul este dotat cu un reflector parabolic cu un diametru de 80 mm (fig.6.12). Asigurarea unei scanări bidimensionale de precizie ridicată în emisie este obținută prin utilizarea unei acționări prin motoare pas cu pas, pentru coordonatele variabile " θ " și " φ ".

6.2.2. Senzori de proximitate ultrasonici

În construcția numeroaselor variante de RI sunt introduse elemente senzoriale pentru a detecta pătrunderea operatorului uman sau a diverselor obstacole în spațiul "interzis", existența pieselor în zona de lucru etc.

Trei zone "interzise" determină nivelul de securitate în jurul RI [6.1]:

1. *zona de securitate*. Interdicția de pătrundere în această zonă este realizată prin baraje materiale sau nemateriale.
2. *spațiul operațional* delimitat de limita evoluției potențiale a robotului industrial. Detectarea unui "obstacol" (operator, piese, echipamente periferice etc.) este realizată prin senzori de proximitate: ultrasonici, optici, capacitivi, magnetici, cu efect Hall etc.
3. *spațiul de lucru* corespunzător aplicației robotizate. Detectarea prezenței unui "obstacol" reclamă în general utilizarea unor senzori cu contact.

În figura 6.13. este prezentată structura unui senzor de proximitate cu ultrasunete.

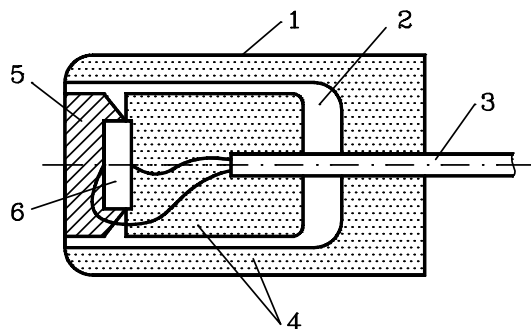


Fig. 6.13 Senzor de proximitate

(1- carcasa senzorului; 2- element metallic; 3- cablu; 4- material absorbant; 5- rășină naturală; 6-traductor piezoceramic)

Elementul de bază este traductorul electroacustic "6" de tip piezoelectric ceramic. Stratul de rășină naturală "5" protejează traductorul "6" împotriva umidității, a prafului și a altor factori de mediu având și rolul unei impedanțe acustice. Traductorul funcționează atât ca emițător (energie electrică -> energie acustică) cât și ca receptor (energie acustică -> energie electrică). Este necesară astfel o amortizare rapidă a energiei acustice, în cazul detectării obiectelor aflate în imediata apropiere, prin folosirea unui absorbant acustic. Categoriile de unde emise și receptate, a semnalelor energiei acustice este

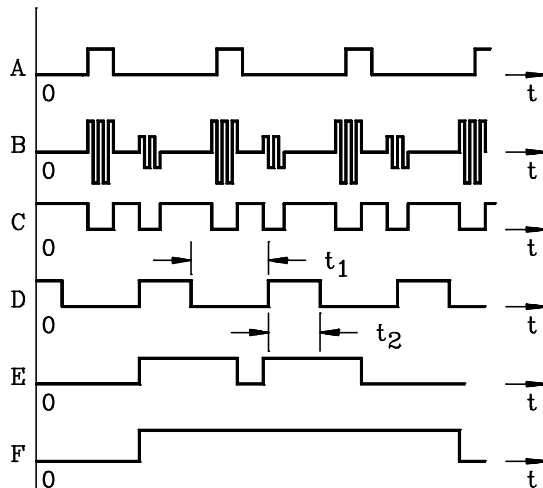


Fig.6.14 Forma semnalelor asociate senzorului de proximitate

prezentată în figura 6.14.

Forma "A" este semnalul utilizat pentru controlul transmisiei. Forma "B" reprezintă semnalul emis și semnalul ecou rezultat. Impulsurile "C" sunt datorate fie emisie, fie recepției. Pentru diferențierea impulsurilor corespunzătoare energiei acustice emise și a celei recepționate s-a introdus forma "D" care evidențiază posibilitățile de detectare ale senzorului. Intervalul Δt_1 este timpul minim de detecție iar $\Delta t_2 + \Delta t_1$ este cel maxim. Aceste intervale de timp sunt echivalente cu distanțele specifice întrucât viteza de propagare a undei acustice este cunoscută pentru un mediu. Un ecou, primit în timp ce semnalul D este "înalt", produce

semnalul "E", care este resetat pe valoare scăzută la sfârșitul pulsului transmisiei în semnalul "A". În final, semnalul F este setat "înalt" pe muchia unui puls în "E" și este resetat pe valoare când E este "jos" și un puls apare în "A". În acest caz "F" va fi "înalt" chiar dacă un obiect este prezent în domeniul specificat de parametri undei de forma "D". Astfel "F" este semnalul de ieșire al senzorului ultrasonic care operează într-un mod binar.

Alte variante de senzori de proximitate sunt realizate cu emițătorul "E" și receptorul "R" separate (fig.6.15). Carcasa este cilindrică și este prevăzută cu filet pentru a se asigura un montaj simplu. Senzorul este prevăzut a lucra într-un câmp de temperatură $25^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$ gradul de protecție fiind IP65 [6.3].

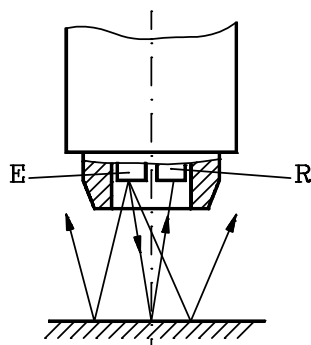


Fig.6.15 Senzor de proximitate (E - emitor; R-receptor)

În figura 6.16 este prezentată varianta constructivă a unui efector final și locul de dispunere a unor elemente senzoriale de siguranță, contact, alunecare și forță / moment [6.5]. Semnificația notațiilor este următoarea:

- 1- traductor incremental de deplasare cuplat cu arborele motorului de acționare "5";
- 2- senzor de forță / moment;
- 3- senzor ultrasonic de proximitate;
- 4- senzor de forță (determină forța de prehensare);
- 5- motor de acționare.
- 6- senzor ultrasonic de proximitate
- 7- senzori optici
- 8- obiect
- 9- flanșă pentru fixarea efectorului față de dispozitivul de ghidare
- 10- traductor potențiomtric de deplasare.