

Fig.6.16 Efector final și senzorii aferenți

6.3 Senzori de detecție optoelectronici

6.3.1 Generalități.

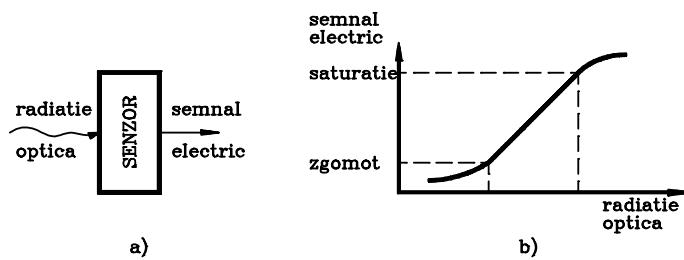


Fig.6.17 Conceptul conversiei optoelectronice: a) principiul; b) domeniu

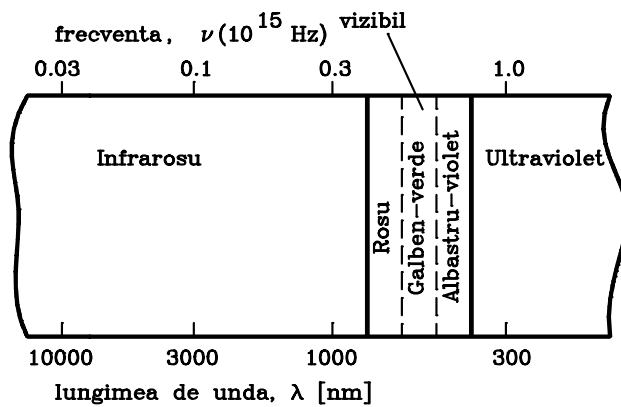


Fig.6.18 Spectrul radiației electromagnetice

Una din posibilitățile cele mai performante de detecție utilizată la ora actuală în robotică este cea oferită de domeniul optoelectronic.

Energia luminoasă este o formă radiantă de energie electromagnetică.

Radiația optică (semnal de intrare) este convertită într-un semnal electronic de ieșire care poate fi utilizat (după prelucrări) în comanda robotului industrial (fig.6.17). Radiația luminoasă este emisă sau absorbită prin cuante corespunzătoare unor particule numite fotoni.

Acest principiu oferă o detecție în timp real, o rezoluție înaltă, o imagine multispectrală.

În figura 6.18 se prezintă "poziția" zonei vizibile al spectrului optic în cadrul spectrului electromagnetic. Prin radiația luminoasă în spectrul vizibil se înțelege radiația electromagnetică în gama 0.4 μm - 0.76 μm. Radiația infraroșie este cea cuprinsă în gama 0.76 μm - 100 μm iar radiația ultravioleta cea cuprinsă în gama 0.01 μm - 0.4 μm.

Tabel 6.1

senzori cuantici	senzori termici	alte variante
fotoemisivi fotoconductivi fotovoltaici fotojonctiune	termistor bolometru termocuplu pireoelectrice	fotochimici fotoplastici fotoceramici fosforici

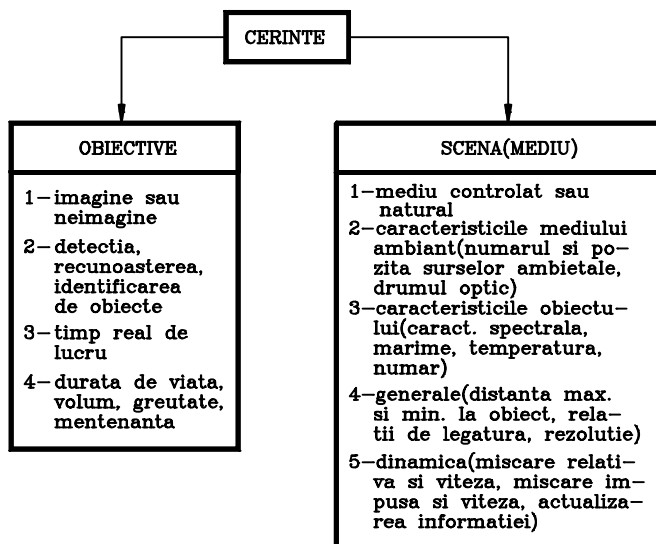


Fig.6.19 Cerințele unui sistem optic de detecție

procesul de detecție: timpul de viață a purtătorilor de sarcină, timpul de transport a sarcinii, capacitatea termică, electronica aferentă procesului, modularea fluxului radiant.

Performanțele acestor elemente, combinate cu parametrii ce descriu drumul optic, definesc în final performanțele sensorului optic. Cerințele unui sistem optic de detecție pot fi grupate în două categorii conform figurii 6.19.

Componentele unui senzor optic sunt grupate în trei categorii:

- a) elementul fotosensibil, inclusiv primul nivel de preamplificare.
- b) elemente optice (oglinzi, lentile, filtre) și elemente auxiliare pentru fixarea lor în carcasă;

Posibilitățile fizice de detectare a radiației optice sunt prezentate în tabelul 6.1. Primele două categorii sunt cele mai utilizate iar în robotică prima categorie.

Detectoarele cuantice funcționează pe baza efectului fotoelectric extern: emiterea electronilor de către solide când acestea sunt supuse acțiunii unui flux luminos. Acest tip de emisie este guvernat de două legi principale:

- densitatea curentului fotoelectronic j_f este proporțională cu intensitatea fluxului luminos Φ absorbit pe unitatea de suprafață emisivă.
 - energia maximă a electronilor emiși este direct proporțională cu frecvența radiației și nu depinde de intensitatea ei.
- Conversia fluxului radiant în semnal electric prezintă constrângeri în timp din cauza factorilor ce limitează

c) elementele de circuit electronic pentru prelucrarea informației.

În concluzie, o sursă de lumină (constituită dintr-o diodă LED, un bec cu incandescență, tub fluorescent) generează un fascicol luminos care este captat de un element fotosensibil (fotodiodă, fotorezistență, fototranzistor). Analiza prezenței sau absenței fluxului luminos pe receptor va defeni prezența sau absența obiectului controlat

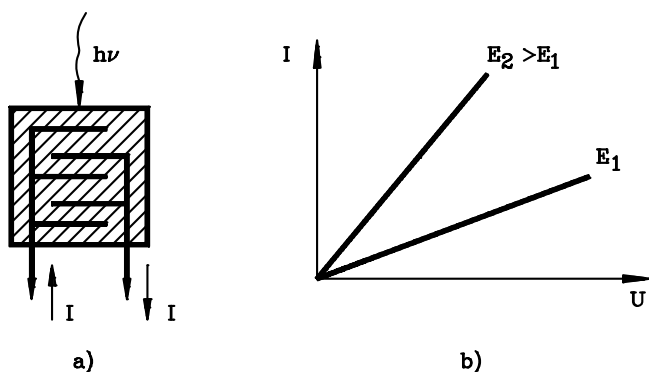


Fig. 6.20 Fotorezistorul. Structura și caracteristici

Fotorezistorul este format dintr-un strat semiconductor de Se, SPb, STa, SeCd, SePb depus prin evaporare în vid pe un grătar metalic, fixat în prealabil pe o placă izolatoare (fig.6.20). Fotorezistorul este prevăzut cu două contacte (identice și simetrice) neredresoare pentru includerea sa în circuit. Pelicula semiconductoră se protejează prin acoperire cu lac sau peliculă de masă plastică

transparentă. Supusă incidenței razelor de lumină, pelicula își modifică rezistența electrică, aceasta scăzând cu creșterea fluxului luminos incident până la valori în jur de 100 Ω .

Rezistența de întuneric R_d a fotorezistorului este definită ca rezistența inclusă în circuitul electric de către fotorezistorul neiluminat.

Sensibilitatea integrală S este definită ca raportul dintre fotocurent și fluxul luminos Φ incident la suprafața fotorezistorului:

$$S = \frac{I_{\Phi}}{\Phi} = \frac{I - I_d}{\Phi} \quad (6.17)$$

unde I este curentul care trece prin fotorezistor la iluminare iar I_d este curentul de întuneric. Dacă fotorezistorul se iluminează cu lumină monocromatică atunci se obține sensibilitatea spectrală S_{λ} . Sensibilitatea fotorezistorului S_R se definește în funcție de rezistențele R și R_d la iluminare cu fluxul luminos Φ și respectiv la întuneric. Întârzierea în răspuns a acestor elemente sensibile este inferioară lui 10 ms.

Pentru aceste elemente sensibile se dau caracteristicile spectrale ale sensibilitatii $S = f(\lambda)$ sau caracteristicile voltampermetrice $I = f(U)$, $I_d = f(U)$ (U este tensiunea aplicată pe fotorezistor).

Fotodioda (fig.6.21) reprezintă o joncțiune p-n de o construcție specială astfel încât să facă posibilă incidența razelor de lumină în domeniul zonei de difuzie a acesteia.

Caracteristicile statice ale fotodiodei evidențiază două regimuri posibile de funcționare: regimul propriu-zis de fotodiodă și regimul de fotogenerator (transformator al energiei luminoase în energie electrică). În regim de fotodiodă, joncțiunea p-n este polarizată invers cu ajutorul sursei U_i . Incidența razelor de lumină în zona de difuzie determină o creștere a curentului invers I_{inv} . Simbolul și modul de polarizare a fotodiodei sunt prezentate în figura.

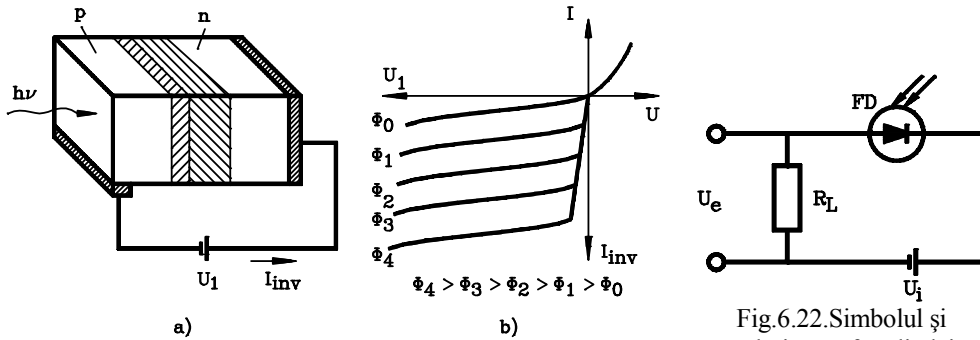


Fig.6.21 Fotodioda: a) construcție; b) caracteristici

Fig.6.22. Simbolul și polarizarea fotodiodei

Curentul de saturație I_{inv} , care corespunde unui flux luminos incident nul, se numește curent de întineric ($\sim 1 \mu A$). Timpul de creștere, măsurat între momentul când curentul variază între 0.1 și 0.9 din valoarea finală, la aplicarea unui salt de iluminare, este de ordinul a 1 μs .

Caracteristica de sensibilitate spectrală a fotodiodei prezintă (ca și celelalte fotodetectoare) un maxim. Fotodioda cu Si prezintă un maxim pentru $\lambda_{max} = 800 \text{ nm}$. În infraroșu, fotodiodele din Ge au $\lambda_{max} = 1,6 \mu m$ iar cele din InAs, $\lambda_{max} = 3.5 \mu m$.

Caracteristica de directivitate normală reprezintă dependența dintre valoarea relativă a fotelementului și valoarea deplasării unghiulare față de axa optică a fotelementului (pentru care elementul fotosensibil are fotocurentul de valoare maximă). Fotelementele cu lentilă au o directivitate mai pronunțată decât cele cu fereastră plană.

La stabilirea tipului de fotodiodă se are în vedere în primul rând lungimea de undă a radiației recepționate.

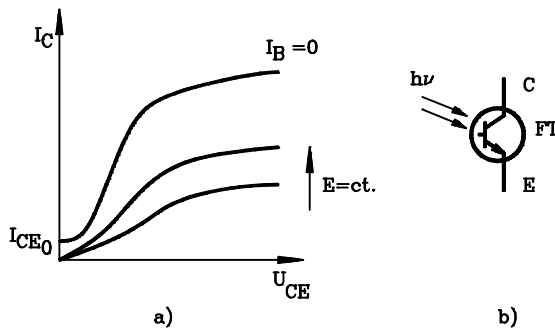


Fig.6.23 Fototranzistorul. Caracteristici și reprezentare.

Fototranzistorul, ca și tranzistorul obișnuit, reprezintă o placuță semiconductoră (n-p-n sau p-n-p) la care regiunea de bază poate fi iradiată cu lumină. Fototranzistorul este plasat într-o carcasă ermetică în care există o fantă circulară, acoperită cu sticlă, care permite iluminarea bazei. Caracteristicile acestui element sensibil sunt prezentate în figura 6.23. Fototranzistorul realizează și o amplificare a curentului fotoelectric.

Perechile electron - gol formate prin incidența radiațiilor determină o creștere a curentului de colector similară celei impuse de creșterea curentului de bază I_B . Deoarece curentul rezidual al fototranzistorului (curent de întineric) este dat de:

$$I_{CE0} = (\beta + 1) \cdot I_{CB0} \tag{6.18}$$

el este mult mai mare decât cel al fotodiodei care corespunde la I_{CB0} .

Notând prin I_F curentul de colector datorat incidenței razelor de lumină și prin βI_F cel datorat efectului de tranzistor, curentul de colector al unui fototranzistor este:

$$I_C = (\beta + 1) \cdot (I_F + I_{CB0}) \quad (6.19)$$

Inerția fototranzistoarelor în funcționare este mai mare decât cea a fotodiodei.

Diodele electroluminiscente (LED)(Light Emitting Diode) și IRED (Infrared Emitting Diode) sunt fotodiode emisivă. Polarizând joncțiunea în sens direct, în zona de trecere a acestuia vor avea loc procese de recombinare electron - gol însoțite de emisie de energie în exterior. În general suprafața activă a unei astfel de diode este de 0.1-10 mm² și intensitatea radiațiilor emise este proporțională cu curenții direcți prin joncțiune (1 - 100 mA). Un circuit tipic de alimentare pentru un LED este prezentat în figura 6.24.

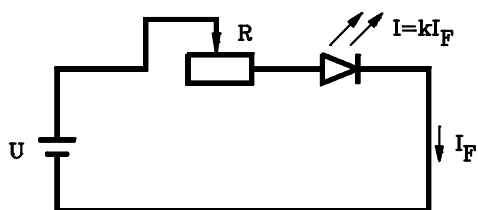


Fig.6.24. Circuit pentru alimentarea unui LED

Eficiența transformării este de 1 - 5 %.

Radiația luminoasă obținută cu ajutorul unui LED este monocromatică. Se realizează LED-uri cu radiație roșie (LED pe bază de GaAsP), galbenă, verde (LED pe bază de GaP) sau infraroșie (LED pe bază de GaAs). LED-ul este mai scump decât un bec de mică putere, dar este un dispozitiv cu răspuns și cu radiație cu spectru îngust. În

comparație cu dioda laser, LED-ul are avantajul unei dependențe mai scăzute a puterii emise față de temperatura și astfel cerințele de stabilizare pentru circuitele de excitație sunt mai mici.

Lămpile cu incandescență sunt folosite pe scară largă datorită simplității constructive și a prețului scăzut. În principiu, lampa cu incandescență este alcătuită dintr-un filament spiralat (din wolfram sau tungsten) parcurs de un curent electric (c.c. sau c.a.) care produce încălzirea acestuia pînă la incandescență. Filamentul este introdus într-un balon de sticlă cu vid, cu gaz inert sau cu halogen.

Performanțele unei lămpi cu incandescență sunt definite de parametrii electrici, fotometrici și cei geometrici. Parametrii electrici principali sunt tensiunea de alimentare, puterea și curentul. Parametrii fotometrici sunt fluxul luminos emis la tensiunea nominală și eficacitatea luminoasă. Se impun condiții severe pentru circuitul de alimentare în vederea asigurării unui curent constant. O modificare a curentului de alimentare cu 0.1 % produce o schimbare a intensității luminoase radiate de 0.7 %.

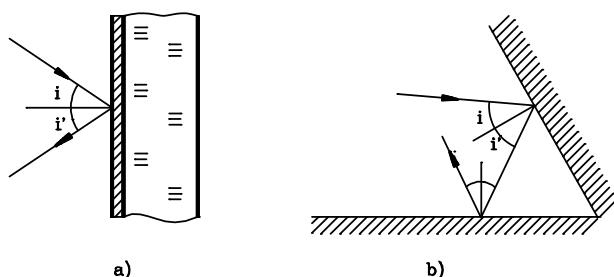


Fig.6.25 Modificarea direcției de propagare a razei optice pe o oglindă: a) - plană singulară; b) unghiulară

Componentele optice din structura unui senzor optic au rolul de a permite o transmisie și recepție optimă a razei optice.

Oglinzile (fig.6.25) sunt componente optice având un dioptru reflectant. Prin efectul optic oglinzile asigură propagarea razei luminoase după o direcție dorită precum și orientarea adecvată a imaginii

[6.25]. Oglinda poate avea formă plană, curbă (sferică, parabolică, cilindrică etc.) sau poate fi construită din inele (oglinzi Fresnel). Efectul optic al unei oglinzi se bazează pe reflexia uniformă. În cazul oglinzii plane, reflexia nu schimbă forma unui fascicul (paralel, convergent sau divergent) acestuia modificându-i-se doar direcția de propagare.

Prismele sunt componente optice cu dioptri activi plani. Din punct de vedere al efectului optic prismele pot fi:

- a) de refracție: realizează devierea fasciculelor de raze prin transmisie;
- b) de reflexie: realizează deviația razei luminoase prin reflexie. Față de sistemele cu oglinzi, prismele reflectatoare prezintă avantaje constructive și funcționale importante: suprafețele active își mențin unghiurile fixe; o prismă poate substitui un sistem de oglinzi; au un gabarit mic; se pot monta ușor.
- c) de divizare și reunirea fasciculelor luminoase.

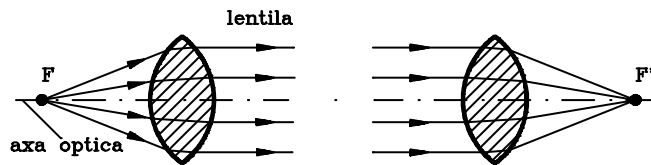


Fig.6.26 Refracția luminii printr-o lentilă convergentă

Lentilele (convergente sau divergente) sunt elementele optice principale ale unui sistem optic. Acestea conțin doi dioptri consecutivi, centrați din care cel puțin unul este curb și care delimitează un spațiu

transparent și refrigent.

Filtrele optice sunt lame plan-paralele care, fie că au o transparență selectivă în raport cu lungimile de undă ale radiației incidente (filtre selective) fie că permit trecerea radiațiilor de orice lungime de undă, micșorând intensitatea luminoasă a întregului spectru (filtre neutre sau cenușii).

Fibrele optice sunt medii optice omogene, sub forma unor tuburi având secțiunea transversală circulară și care în secțiunea longitudinală pot fi cilindrice, conice sau curbe. Transmisia luminii printr-o fibră se bazează pe fenomenul de reflexie totală. Fibra optică are indicele de refracție n_1 și dimensiunea transversală de 5...10 μm . În vederea reducerii pierderilor, fibra optică este acoperită cu un strat subțire de dielectric, transparent ($n_2 < n_1$) cu grosimi de ordinul 1...2 μm .

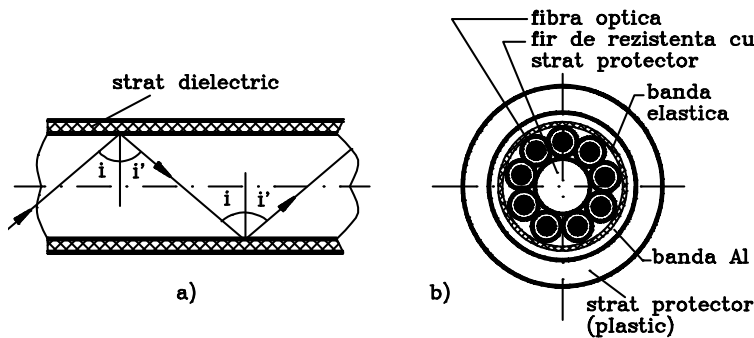


Fig.6.27 Fibra și cablu optic: a) fibra optică cilindrică; b) cablu optic circular

Prin reunirea mai multor fibre optice într-o structură complexă se obțin cablurile optice (fig.6.27). Fiecare fibră este un canal independent pentru transmiterea unui detaliu al imaginii.