

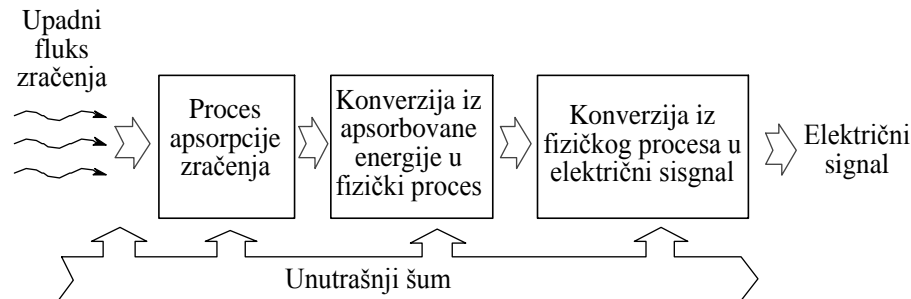
Osnovni procesi koji se odvijaju u detektorima

8.1 Proces detekcije fotona

Ako se želi napraviti dobar detektor nije dovoljno samo proučavati proces interakcije fotona i materije koji dovodi do stvaranja određenog fizičkog efekta. Neophodno je proučavati i proces koji od osnovnog fizičkog efekta formira električni signal na izlasku iz detektora. Na kraju se formirani električni signal mora prepoznati u okolini koja ima unutrašnje izvore šuma. Unutrašnji izvori šuma se mnogobrojni i mogu nastati zbog:

- slučajnih fluktuacija u upadnom optičkom zračenju,
- slučajnih fluktuacija u izlaznom električnom signalu, zbog statističkih osobina nosioca naelektrisanja (elektroni i šupljine) u procesima njihovog generisanja i rekombinacije.

Izvori unutrašnjeg šuma ograničavaju detektor da može da detektuju veoma slabe optičke signale. Na slici 8.1 šematski su prikazani svi procesi koji se dešavaju u detektoru.



Slika 8.1. Principijelna šema procesa detekcije zračenja

Elektromagnetno zračenje može na razne načine reagovati sa materijom. Najznačajnije interakcije elektromagnetnog zračenja sa materijom su termički i fotoelektrični efekat. Kod termičkog efekta, usled apsorpcije elektromagnetnog zračenja, dolazi do povećanja temperature materije. Zbog toga dolazi do promene određenih osobina materije. Svi fotoelektrični efekti zasnovani su na direktnoj interakciji fotona iz upadnog elektromagnetnog zračenja i elektrona u materiji. Elektroni u materiji mogu da budu:

- vezani za atome kristalne rešetke,
- vezani za atome nečistoća,

- slobodni elektroni.

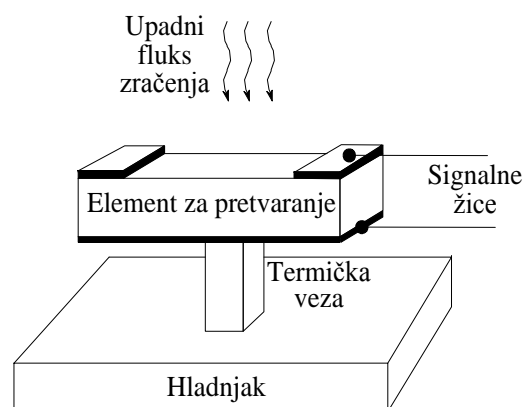
Zbog različitih tipova elektrona sa kojima reaguju fotoni moguć je veliki broj fotoelektričnih efekata.

Izbor materijala i konstrukcija detektora obično obezbeđuju da samo jedan od pomenutih efekata dominira u detektoru.

8.1.1 Termički efekat

Zajednička osobina svih termičkih detektora je povećanje temperature nakon apsorpcije dela upadnog elektromagnetnog zračenja. Svaki termički detektor pokušava da apsorbuje što je moguće više energije upadnog elektromagnetnog zračenja. Iz fizike je poznato da jedino apsolutno crno telo apsorbuje svu energiju upadnog zračenja. Zbog toga se termički detektori prave tako da se što je moguće više približe apsolutno crnom telu. Termički detektori predstavljaju skoro idealne apsorbere, odnosno, emitore zračenja u širokoj oblasti elektromagnetnih talasa.

Principijelni model strukture termičkog detektora prikazan je na slici 8.2. Sa slike se vidi da je detektor ploča koja je povezana sa hladnjakom. Hladnjak ima veliku masu u poređenju sa detektorom. Hladnjak takođe ima veliki termički kapacitet tako da njegova temperatura ostaje praktično nepromenjena, ako mala količina toplote pređe na njega. Detektor se nalazi na temperaturi hladnjaka sve dok ne apsorbuje energiju upadnog zračenja. Povećanje temperature detektora definiše se na osnovu termodinamičkih procesa koji se dešavaju u sistemu detektor – hladnjak. Kada se odredi promena temperature detektora moguća je i analiza ostalih parametara termičkih detektora.



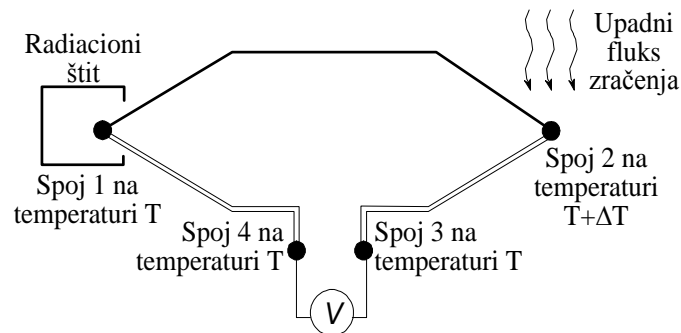
Slika 8.2. Struktura termičkog detektora

U nastavku ovog poglavlja biće prikazani neki od najpoznatijih tipova termičkih detektora kao što su:

- termopar,
- bolometar,

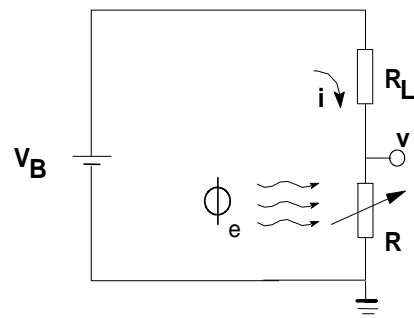
- piroelektrični detektor.

Termoelektrični efekat se koristi u termoparovima koji su prvi projektovani detektori zračenja. Termoelektrični efekat se zasniva na osobini da dva različita metala kada se spoje zajedno razvijaju malu razliku potencijala (napon), koja zavisi od razlike u temperaturi toplijeg i hladnijeg spoja metala. Principijelna šema jednostavnog termopara koji služi kao detektor zračenja data je na slici 8.3. Termopar se može zamisliti kao slaba baterija koja pretvara upadnu energiju optičkog zračenja u električnu energiju.



Slika 8.3. Principijalna šema termopara

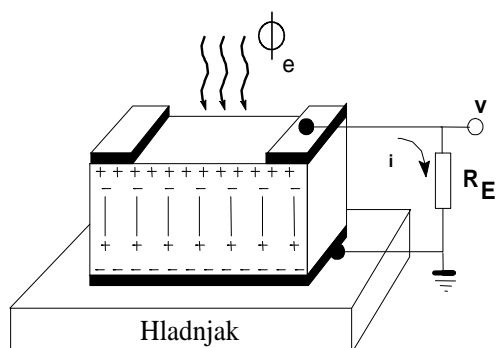
Bolometri su osjetljivi termički instrumenti koji služe za detekciju i merenje zračenja. Osnovna komponenta bolometra je crna, uska kratka pruga od specijalnog materijala koji apsorbira upadno zračenje. Sam materijal ima veliki koeficijent temperaturene zavisnosti električne otpornosti. To znači da se električna otpornost menja u zavisnosti od povećanja temperature, odnosno, od količine apsorbirane energije zračenja. Sa promenom električne otpornosti menja se i struja i napon u električnom kolu. Principijelna šema električnog kola bolometra data je na slici 8.4.



Slika 8.4. Principijelna šema električnog kola bolometra

Piroelektrični efekat se sastoji u promeni kapacitivnosti materijala sa apsorpcijom upadnog zračenja. Jednostavan piroelektrični detektor se sastoji iz piroelektričnog materijala koji ima metalne elektrode na suprotnim stranama. Prilikom

proizvodnje detektora piroelektrični materijal je polarizovan. Kada se detektor zagreje usled apsorpcije upadnog zračenja, polarizacija se menja proporcionalno promeni temperature. Promena polarizacije se može detektovati kao promena kapacitivnosti detektora. Promena kapacitivnosti izaziva promenu struje i napona u električnom kolu detektora. Principijelna šema piroelektričnog detektora data je na slici 8.5.



Slika 8.5. Principijelna šema piroelektričnog detektora

8.1.2 Fotoelektrični efekti

Fotoelektrični efekti predstavljaju sve interakcije fotona iz upadnog snopa svetlosti sa elektronima iz detektora, koji mogu biti slobodni, odnosno vezani za kristalnu rešetku ili atome nečistoća. Sve fotoelektrične efekte možemo podeliti na dva tipa efekata: spoljašnje i unutrašnje. Kod unutrašnjih fotoefekata, foto pobuđeni nosioci naelektrisanja (elektroni ili šupljine) ostaju u okviru detektora. Kod spoljašnjeg fotoefekta, fotoni iz upadnog snopa svetlosti izazivaju emisiju elektrona sa površine apsorpcionog materijala detektora.

Da bi moglo da dođe do bilo kakvog fotoelektričnog efekta (unutrašnjeg ili spoljašnjeg), energija fotona mora biti dovoljno velika da izazove promenu energetske stanja nosioca naelektrisanja u materijalu detektora. U slučaju unutrašnjeg fotoefekta, energija fotona mora biti veća od energetske razlike između energetske stanja vezanog elektrona za kristalnu rešetku i provodnog stanja. U slučaju spoljnog fotoefekta, energija fotona mora biti veća od energije koja je potrebna elektronu da se emituje iz materijala detektora. Iz fizike je poznato da se svi elektroni u unutrašnjosti materijala detektora nalaze na Fermijevom energetske nivou. Da bi se elektron mogao emitovati iz materijala, potrebno je povećati njegovu energiju iznad potencijalne granice površine materijala.

Svi fotoelektrični efekti mogu se podeliti na:

- fotoprovodni efekat,
- fotonaponski efekat,
- fotoelektromagnetni efekat,
- fotoemisivni efekat.

Kod fotoprovodnog efekta, dolazi do promene otpornosti fotoprovodnika zbog apsorpcije fotona i generisanja nosioca naelektrisanja. Električni signal se detektuje kao promena struje kroz detektor.

Fotonaponski efekat predstavlja stvaranje razlike u električnom potencijalu između dve elektrode kada upadno zračenje dolazi na jednu od njih. Razlika u električnom potencijalu se obično detektuje preko električne struje u električnom kolu detektora.

Fotoemisivni efekat predstavlja emisiju elektrona sa površine fotokatoda u okolni prostor. Ovaj efekat se najviše koristi kod pojačavača slike.

8.2 Šum u detektorima zračenja

Šum u detektorima određuje minimalnu količinu upadnog zračenja koje se može detektovati. Šumovi se mogu javiti:

- u upadnom optičkom zračenju,
- u samom detektoru,
- u elektronskom sistemu koji se nalazi posle detektora.

Prilikom projektovanja bilo kojeg detektora, potrebno je da se što je moguće više smanji nivo šuma u samom detektoru i u elektronskom sistemu. Projektanti teže da smanje šum do granice kada je moguće detektovati šum u upadnom optičkom zračenju. U praksi to se retko postiže, jer uvek postoje unutrašnji šumovi u detektoru i elektronskom sistemu koji se ne mogu smanjiti.

Šum se može definisati kao slučajne fluktuacije koje se mešaju sa električnim signalom detektora. Postoje više tipova šumova od kojih su neki zajednički za sve tipove detektora, a drugi su specifični za pojedine tipove detektora. U ovom poglavlju, biće objašnjeni samo glavni tipovi šumova. Šumovi koji se javljaju kod svih tipova detektora su:

- Johnsonov šum,
- fotonski šum.

Johnsonov šum nastaje zbog termičkog kretanja nosioca naelektrisanja. Fotonski šum nastaje zbog statističkih fluktuacija u broju fotona upadnog zračenja.

Šumovi koji se javljaju isključivo u termičkim detektorima su:

- Shotov šum,
- temperaturni šum.

Shotov šum predstavlja šum koji nastaje zbog slučajnih promena u broju i brzini elektrona koji se generišu na detektoru. Temperaturni šum predstavlja slučajne fluktuacije u temperaturi detektora.

8.3 Detektori slike

U prethodnim poglavljima ove Glave, detaljno su objašnjeni razni tipovi tačkastih detektora. U nastavku glave će biti objašnjeni detektori slike. Da bi detektor slike mogao da formira sliku koja odgovara posmatranoj sceni, potrebno je da objektiv formira lik posmatranog predmeta u svojoj žižnoj ravni. Taj lik treba na neki način skenirati da bi se dobila slika na detektoru slike. Za formiranje slike kod detektora slike mogu se koristiti tri osnovne metode:

- skeniranje tačke,
- skeniranje linije,
- skeniranje površine.

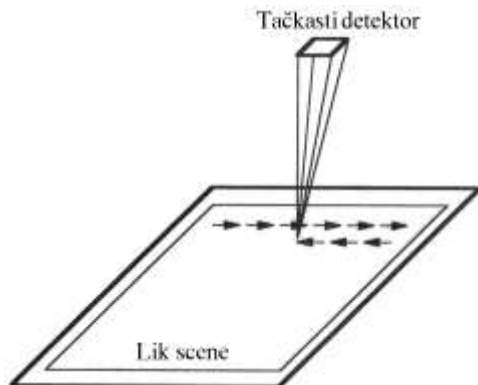
Kod skeniranja tačke detektor se sastoji iz jedne ćelije koja odgovara jednom pikselu na slici. Piksel predstavlja osnovni element preko koga se definiše posmatrana slika. Skeniranje kod tačkastog detektora vrši se sekvencijalnim pomeranjem detektora po diskretnim koordinatama duž X i Y ose, u ravni, i detektovanjem informacije lika posmatrane scene. Prednost ovog pristupa skeniranju slike su:

- visoka rezolucija,
- jednakost u merenju na celoj površini slike,
- jednostavnost konstrukcije detektora,
- niska cena detektora.

Nedostaci metode skeniranja tačke su:

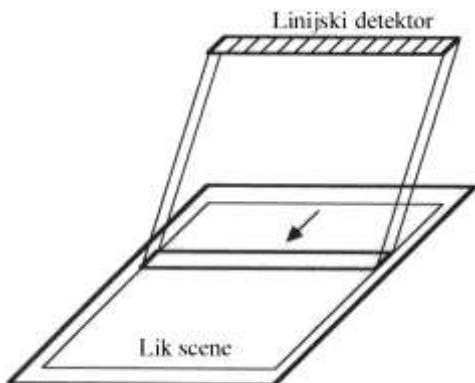
- greške u registraciji piksela zbog pomeranja lika posmatrane scene ili detektora duž X i Y ose u ravni,
- mali broj formiranih slika u jedinici vremena zbog skeniranja pojedinačnih piksela,
- velika kompleksnost sistema za skeniranje zbog potrebe preciznog pomeranja detektora duž X i Y ose u ravni.

Na slici 8.6 prikazana je metoda skeniranja tačke.



Slika 8.6. Metoda skeniranja tačke

Kod skeniranja linije, detektor se sastoji iz niza ćelijskih detektora koji su postavljeni duž jedne ose. Skeniranje se vrši samo duž jednog pravca. Prilikom skeniranja linije jedna linija sa informacijama sa scene se očitava i obrađuje pre nego što se pređe na očitavanje i obrađivanje sledeće linije. Fizičke dimenzije linijskog detektora definisane su tehnološkim mogućnostima izrade detektora. Skeniranje linije značajno smanjuje potrebno vreme za skeniranje u odnosu na skeniranje tačke. Metoda skeniranja linije ima relativno visoku rezoluciju, koja je ograničena veličinom piksela i rastojanjem između dva piksela. Sistem koji se koristi kod metode skeniranja linije je znatno jednostavniji nego sistem koji se koristi kod metode skeniranja tačke. Na slici 8.7 prikazana je metoda skeniranja linije.



Slika 8.7. Metoda skeniranja linije

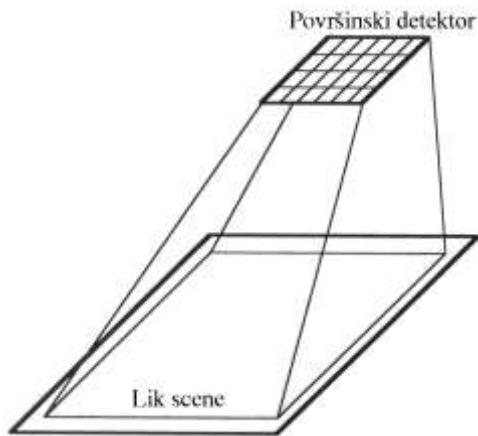
Kod skeniranja površine, detektor se sastoji iz dvodimenzionalne matrice ćelijskih detektora. Na taj način moguće je formirati kompletnu sliku scene bez potrebe za bilo kakvim pomeranjem detektora ili scene. Prednosti metode skeniranja površine su:

- veliki broj formiranih slika u jedinici vremena,
- jednostavna konstrukcija sistema koji ne zahteva pokretne delove.

Ograničenja metode skeniranja površine su:

- rezolucija je ograničena u oba smera veličinom piksela i razmakom između njih,
- niži odnos signal/šum u odnosu na ostale metode skeniranja,
- viša cena proizvodnje jednog matričnog detektora u odnosu na druge tipove detektora.

Na slici 8.8 prikazana je metoda skeniranja površine.



Slika 8.8. Metoda skeniranja površine