

## CAPITOLUL 8. DISPOZITIVE OPTOELECTRONICE

### 8.1. DISPOZITIVE FOTODETECTOARE

#### 8.1.1 FOTOREZISTORUL

**Fotorezistorul** – este un dispozitiv electronic, a cărui rezistență electrică se modifică sub acțiunea unui flux luminos care cade pe suprafața sensibilă a acestuia.

Fotorezistorul este format dintr-o peliculă din material semiconductor, depusă prin evaporare în vid pe un grătar metalic care este fixat pe o placă izolatoare. Pelicula este prevăzută la capete cu contacte ohmmetrice care reprezintă terminalele și este protejată prin acoperire cu lac sau prin încapsulare în material plastic (**figura 8.1**)

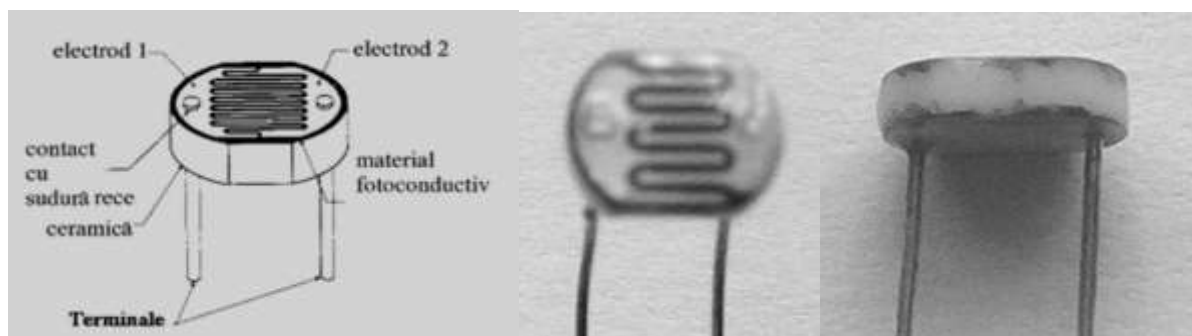


Figura 8.1 Fotorezistorul

Simbolurile grafice ale fotorezistorului sunt prezentate în **figura 8.2**

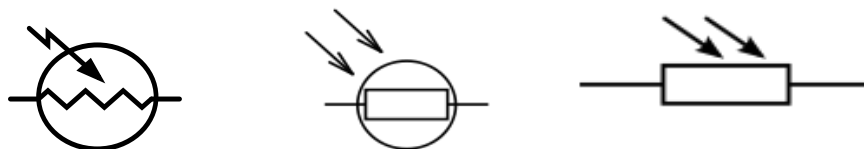


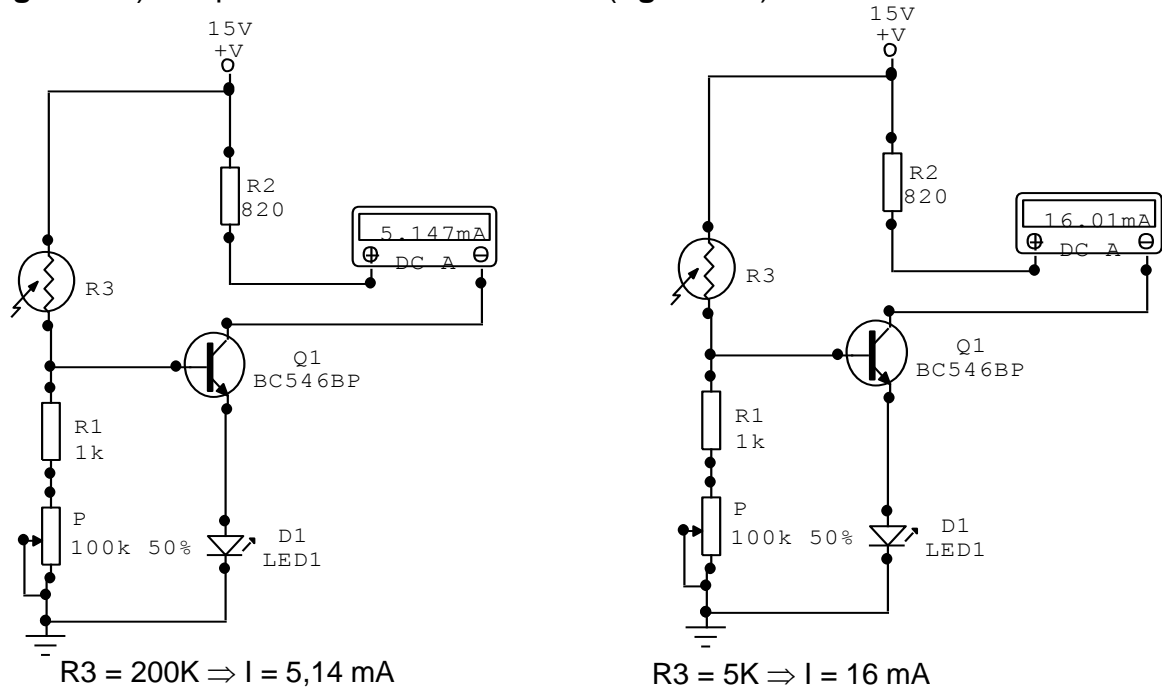
Figura 8.2 Simbolurile fotorezistorului

Rezistența electrică a fotorezistorului scade odată cu creșterea intensității fluxului luminos aplicat pe suprafața sensibilă a fotorezistorului. În **figura 8.3** se observă cum rezistența fotorezistorului se modifică în funcție de gradul de acoperire a suprafeței sensibile.

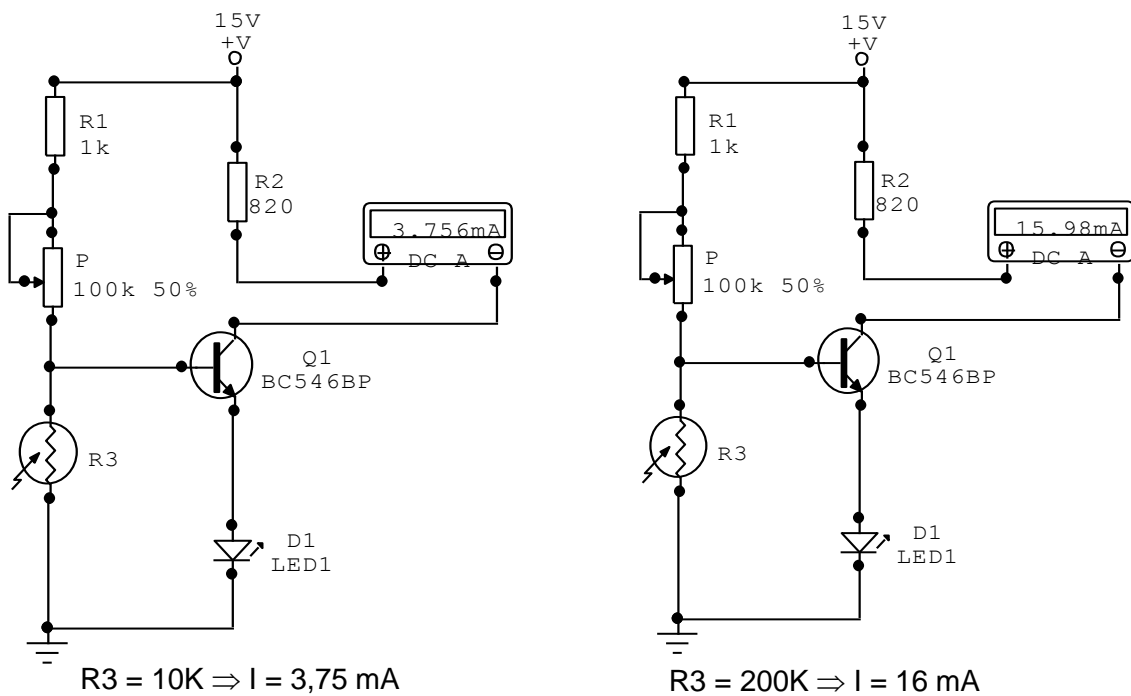


Figura 8.3 Comportarea fotorezistorului la modificarea intensității fluxului luminos

Conectat într-un circuit electric, fotorezistorul modifică intensitatea curentului din circuit. Intensitatea curentului crește proporțional cu scăderea rezistenței electrice a fotorezistorului, deci proporțional cu creșterea intensității fluxului luminos. În circuitele electronice, în funcție de modul de conectare, fotorezistorul poate fi activat de lumină (figura 8.4) sau poate fi activat de întuneric (figura 8.5)



**Figura 8.4 Montaj cu fotorezistor activat de lumină**



**Figura 8.5 Montaj cu fotorezistor activat de întuneric**

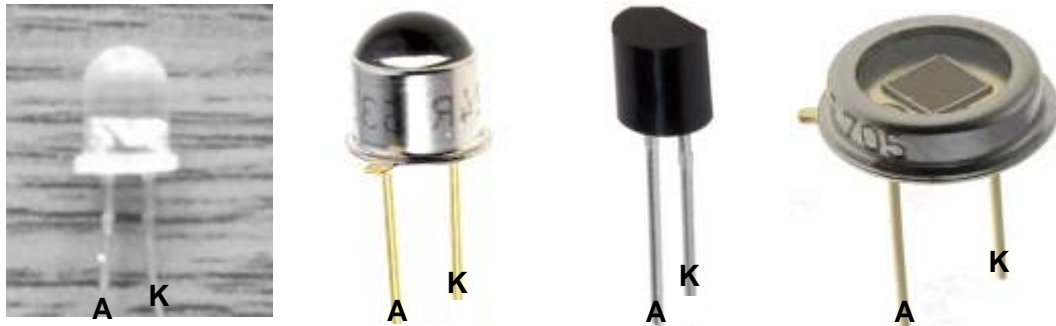
Din potențiometrul P se reglează sensibilitatea fotorezistorului R3.

Rezistența R1 protejează fotorezistorul.

### 8.1.2 FOTODIODA

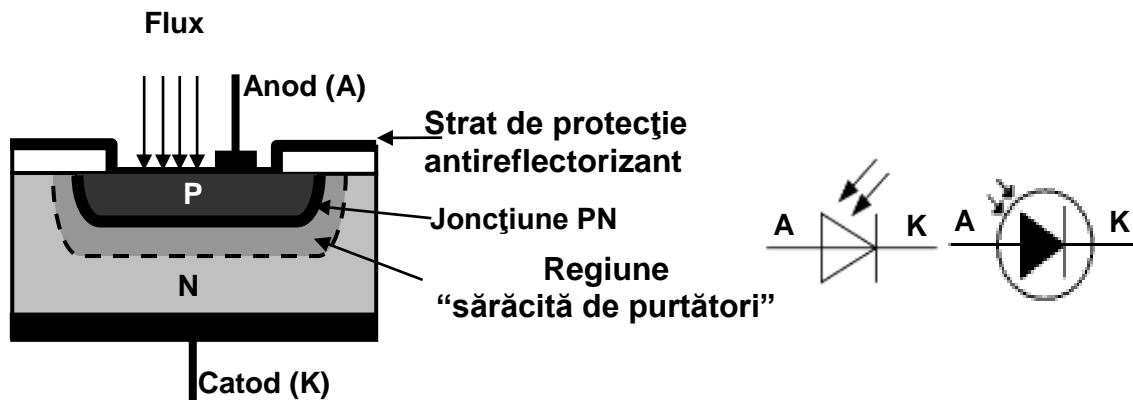
Fotodioda este un dispozitiv optoelectronic, realizat dintr-o joncțiune pn fotosensibilă, care funcționează în **polarizare inversă**.

Capsula fotodiodei prezintă o fantă transparentă, sub forma unei ferestre plane sau a unei lentile, care permite pătrunderea luminii către joncțiunea pn (**figura 8.6**).



**Figura 8.6 Fotodiode**

În **figura 8.7** sunt prezentate structura și simbolul fotodiodei.



**Figura 8.7 Structura și simbolul fotodiodei**

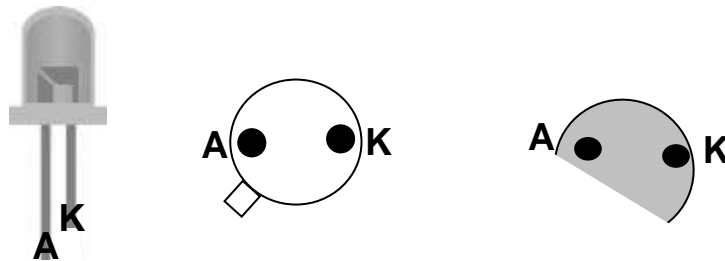
În structura fotodiodei materialul de bază este siliciul dopat **N**. La suprafața stratului **N** este creat un strat subțire **P**, prin implantarea ionică sau difuzia termică a unui material adecvat (de obicei se utilizează bor). Suprafața activă a fotodiodei este acoperită cu un strat subțire de protecție, care este și antireflectorizant, care poate fi monoxid sau bioxid de siliciu. Între cele două substraturi, **P** și **N**, se formează **joncțiunea PN**. Regiunea care se formează în vecinătatea joncțiunii PN se numește **“regiune sărăcită de purtători”** deoarece în această regiune siliciul „este golit” de purtători de sarcină liberi. Această regiune este foarte importantă în funcționarea fotodiodei, ea își modifică adâncimea în funcție de valoarea tensiunii inverse aplicată la terminalele fotodiodei. Capacitatea joncțiunii PN depinde de grosimea acestei regiuni. Cu cât tensiunea de polarizare inversă a fotodiodei crește, se mărește adâncimea regiunii și scade capacitatea joncțiunii PN.

## Identificarea terminalelor și verificarea fotodiodei

La fotodiode terminalul mai **lung** este **Anodul (+)** iar terminalul mai **scurt** este **Catodul (-)**.

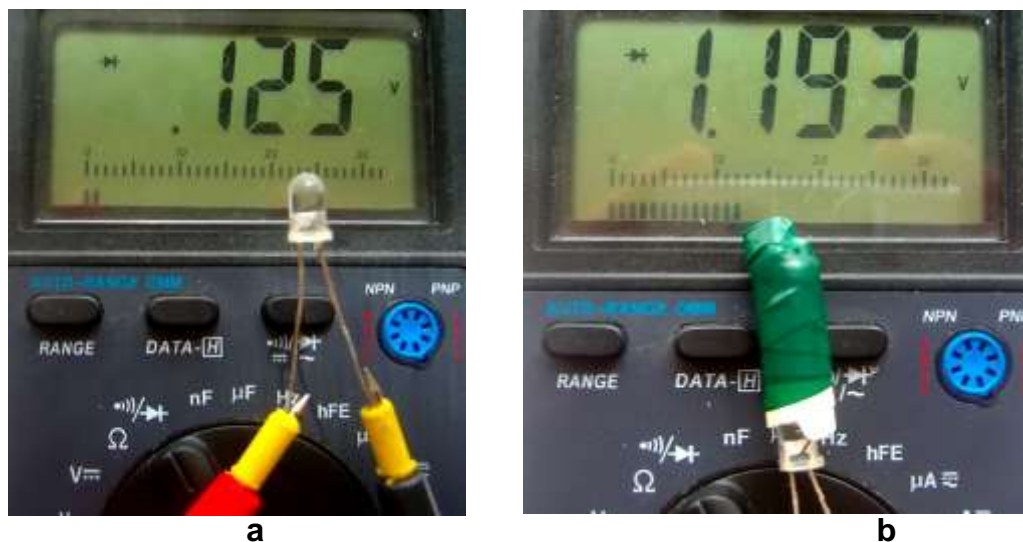
La fotodiodele în capsulă metalică terminalul de lângă **cheiță** este **Anodul (+)**.

La fotodiodele în capsulă transparentă electrodul mai **subțire** este **Anodul (+)**.






**Figura 8.8** Identificarea terminalelor fotodiodei după forma capsulei

În **figura 8.9** este prezentat modul de identificare a terminalelor și de verificare a fotodiodei cu multimetrul digital.



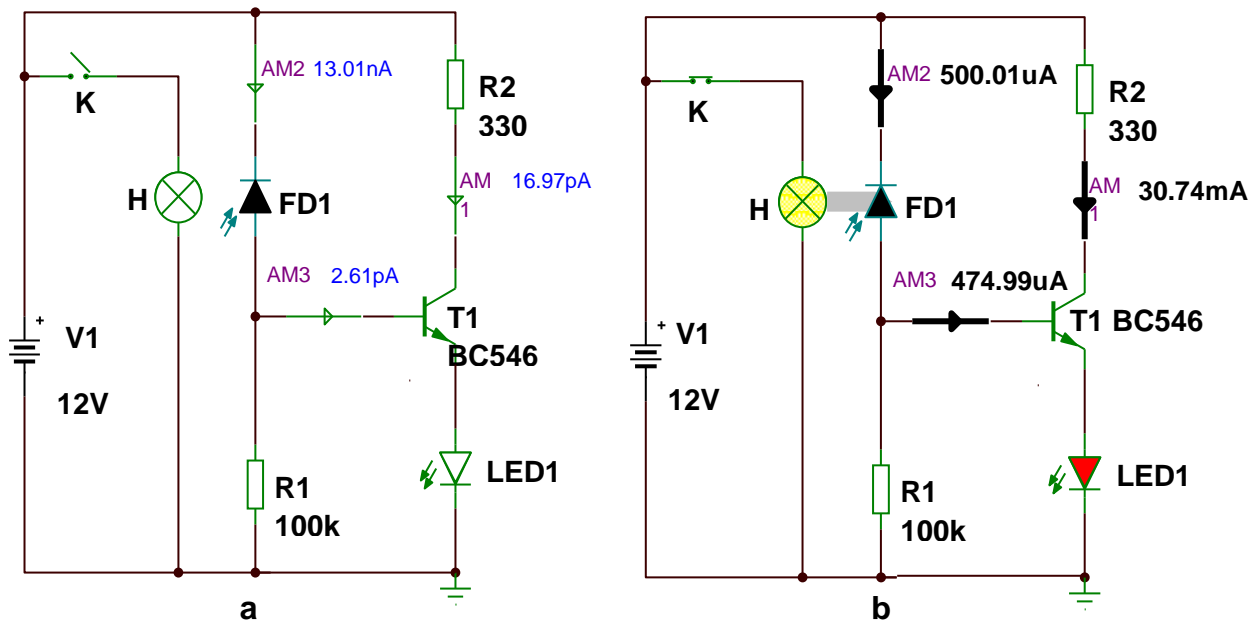
**Figura 8.9** Identificarea terminalelor și verificarea fotodiodei cu multimetrul

Pentru identificarea terminalelor și verificarea fotodiodei cu multimetrul se parcurg următoarele etape:

- se fixează comutatorul multimetrului pe poziția  ;
- se activează butonul  iar pe display în stânga-sus trebuie să apară  ;
- se fixează tastele multimetrului la terminalele fotodiodei în sensul în care acesta indică tensiune (**fig. 8.9 a**). În această situație, terminalul fotodiodei pe care este **tasta + a multimetrului** va fi **catodul (-) fotodiodei**;
- pentru a verifica funcționarea fotodiodei, se astupă capsula acesteia, situație în care tensiunea indicată de multimetru trebuie să se modifice (**fig. 8.9 b**);
- dacă se modifică fluxul de lumină pe capsula fotodiodei (prin iluminare sau întunecare) trebuie să se modifice tensiunea la bornele acesteia.

## Funcționarea și conectarea în circuit a fotodiodei.

După cum am precizat anterior, regiunea „sărăcită de purtători” din jurul joncțiunii PN este foarte importantă în funcționarea fotodiodei. Prin polarizarea inversă a fotodiodei această regiune se adâncește și permite curentului electric produs de radiațiile luminoase să traverseze joncțiunea PN a fotodiodei. Când lumina este absorbită în aria activă a fotodiodei se generează termic în regiunea golită o pereche electron-gol. Această pereche este separată de câmpul electric produs în regiunea sărăcită prin polarizarea inversă a fotodiodei, **electronii** trecând în regiunea **N** iar **golurile** în regiunea **P**. Această separare de sarcini poartă denumirea de “**efect fotovoltaic**”, iar curentul corespunzător se numește **curent de lumină ( $I_{sc}$ )**. Curentul prin diodă crește proporțional cu intensitatea luminii. Când joncțiunea nu este luminată, curentul este aproape neglijabil și se numește **curent de întuneric ( $I_D$ )**. În cataloagele de fotodiode se indică curentul de scurtcircuit  $I_{sc}$ , deoarece fotodioda se comportă ca o sursă de curent.



**Figura 8.10 Comanda unui LED cu ajutorul unei fotodiode**

Când asupra unei fotodiode polarizată invers, acționează un flux de lumină, fotodioda modifică curentul din circuitul în care este conectată.

În schema din **fig. 8.10 a**, întrerupătorul **K** este **deschis**, lampa **H** este **stinsă** iar fotodioda **FD1** este blocată, deci prin circuitul bazei tranzistorului **T1** nu circulă curent. În această situație tranzistorul este **blocat** iar **LED1** este **stins**.

În schema din **fig. 8.10 b**, întrerupătorul **K** este **închis**, lampa **H** **luminează** iar fotodioda **FD1** intră în conducție, deci prin circuitul bazei tranzistorului **T1** circulă curent. În această situație tranzistorul **conduce** iar **LED1** **luminează**.

## OBSERVAȚII IMPORTANTE!

- La conectarea în circuit, fotodioda se conectează întotdeauna în serie cu un rezistor care limitează curentul prin fotodiodă;
- Semnalul emis de fotodiodă se culege între anodul (+) fotodiodei și masa montajului (fig. 8.11 a) sau dintre catodul (-) fotodiodei și +V (fig. 8.11 b);

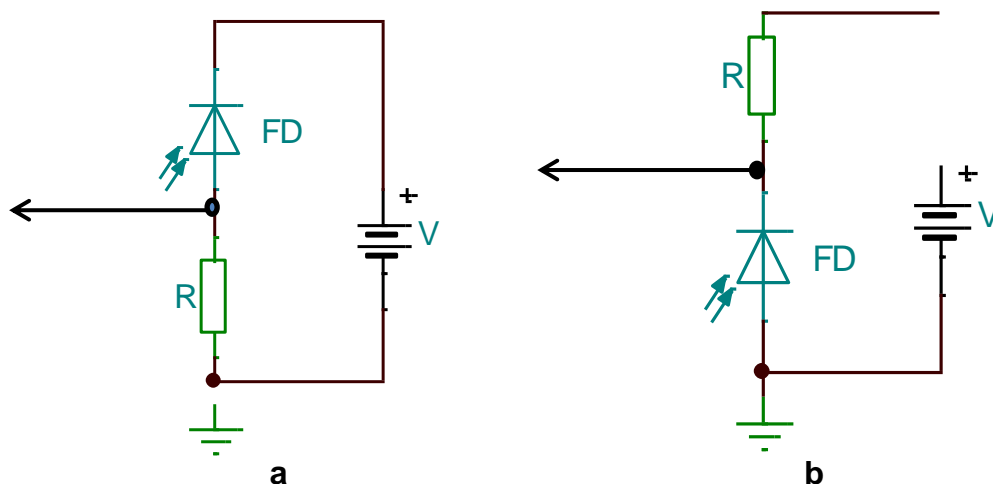


Figura 8.11 Conectarea fotodiodei într-un circuit

- Fotodioda se comportă ca un generator de curent comandat de un flux luminos;
- La întuneric curentul fotodiodei este foarte mic (de ordinul nanoamperilor) iar la lumină (în funcție de intensitatea fluxului luminos) crește (până la ordinul microamperilor).

## PARAMETRII PRINCIPALI AI FOTODIODELOR:

- Tensiunea inversă (Reverse voltage) -  $[V_R]$ ;
- Puterea disipată totală (Total power dissipation) -  $[P_{tot}]$ ;
- Curentul direct (Forward current) -  $[I_F]$ ;
- Curentul de întuneric (Dark current) -  $[I_R]$ ;
- Curentul de lumină sau scurtcircuit (Short-circuit current) -  $[I_{SC}]$ .

### Exemple:

#### 1. Parametrii principali ai fotodiodei SFH 203:

$V_R = 50 \text{ V}$  ;  $P_{tot} = 100 \text{ mW}$  ;  $I_F = 80 \text{ } \mu\text{A}$  ;  $I_R = 1 \text{ nA}$  ;  $I_{SC} = 80 \text{ } \mu\text{A}$ ;

#### 2. Parametrii principali ai fotodiodei BPX 63:

$V_R = 7 \text{ V}$  ;  $P_{tot} = 200 \text{ mW}$  ;  $I_F = 100 \text{ } \mu\text{A}$  ;  $I_R = 5 \text{ pA}$  ;  $I_{SC} = 10 \text{ } \mu\text{A}$ .

### 8.1.3 FOTOTRANZISTORUL

Fototranzistorul este un tranzistor cu jonctiunea bază-colector fotosensibilă. Pentru fototranzistoare sunt două variante constructive: cu două terminale sau cu trei terminale. În configurația cu două terminale, baza nu este accesibilă, situație în care semnalul de intrare în fototranzistor este exclusiv lumina. În configurația cu trei terminale, baza se conectează în circuit și asigură o stabilitate mai bună a punctului static de funcționare față de variațiile de temperatură.

Spre deosebire de fotodiodă, fototranzistorul are sensibilitatea mult mai mare dar în schimb are viteză de răspuns mai mică decât fotodioda (microsecunde față de nanosecunde în cazul fotodiodei).

Capsula fototranzistorului este prevăzută cu o fereastră în care este plasată o lentilă care focalizează fluxul luminos asupra regiunii fotosensibile a dispozitivului (fig. 8.12).

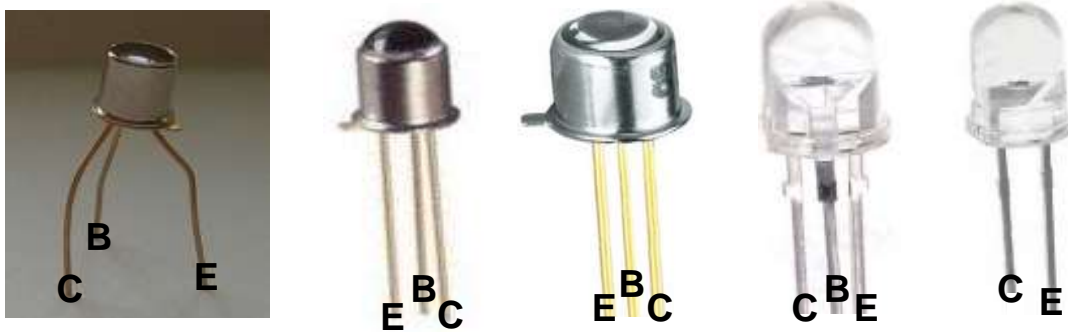


Figura 8.12 Fototranzistoare

În figura 8.13 sunt prezentate structura și simbolul fototranzistorului

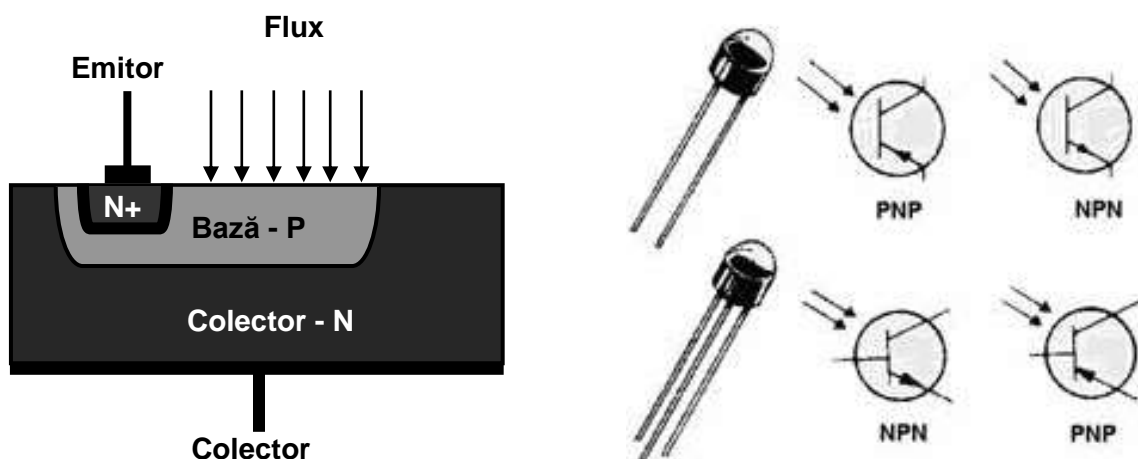


Figura 8.13 Structura și simbolul fototranzistorului

## Identificarea terminalelor și verificarea fototranzistorului

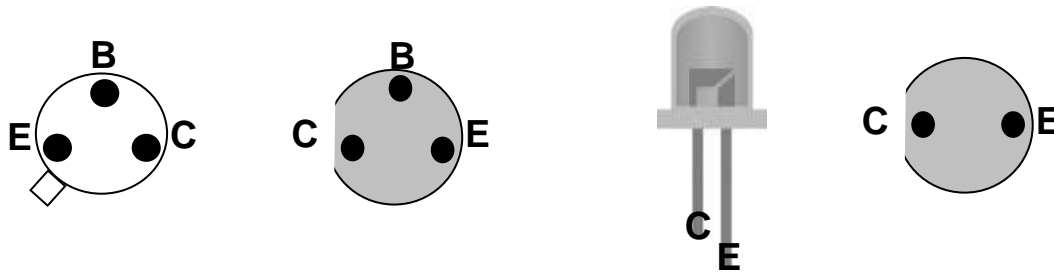





Figura 8.14 Identificarea terminalelor fototranzistorului după forma capsulei

În figura 8.15 este prezentat modul de identificare a terminalelor și de verificare a fototranzistorului cu multimetrul digital.



Figura 8.15 Identificarea terminalelor și verificarea fototranzistorului cu multimetrul

Pentru identificarea terminalelor și verificarea fototranzistorului cu multimetrul se parcurg următoarele etape:

- se fixează comutatorul multimetrului pe poziția  ;
- se activează butonul  iar pe display în stânga-sus apare  ;
- se fixează tastele multimetrului la terminalele fototranzistorului în sensul în care acesta indică tensiune (fig. 8.15 a). În această situație, terminalul fototranzistorului pe care este tasta + a multimetrului va fi colectorul (C) fototranzistorului. (ATENȚIE! Când se face această verificare capsula fototranzistorului se îndreaptă spre lumină);
- pentru a verifica funcționarea fototranzistorului, se astupă capsula acestuia, situație în care tensiunea indicată de multimetru se modifică (fig. 8.15 b);
- dacă se modifică fluxul de lumină pe capsula fototranzistorului (prin iluminare sau întunecare) trebuie să se modifice tensiunea la bornele acestuia.

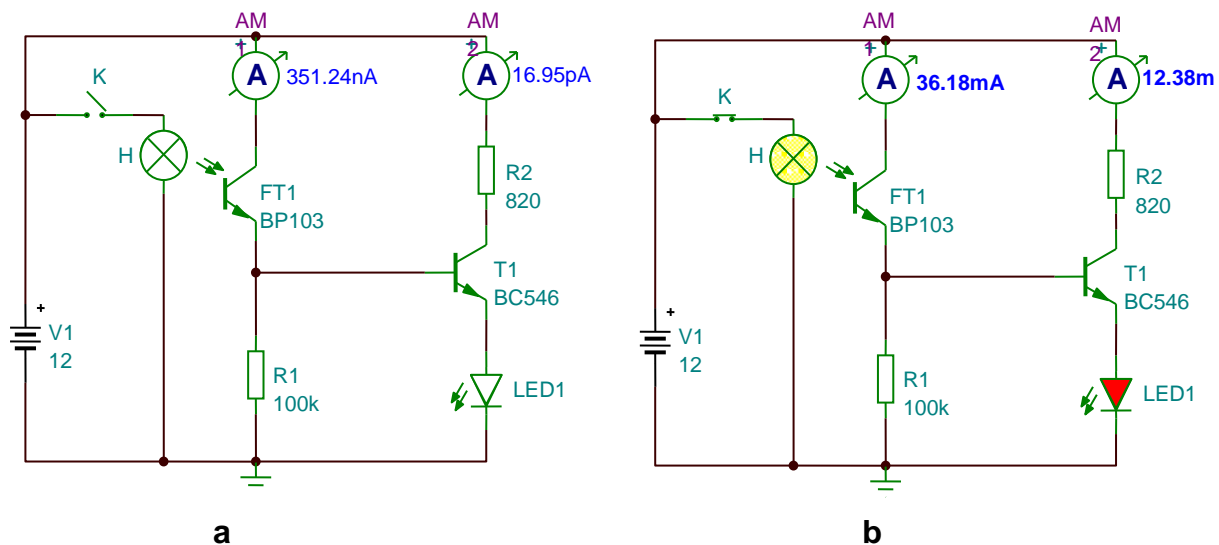


## Conectarea în circuit a fototranzistorului.

Un fototranzistor poate comanda intrarea în conducție sau blocarea unui tranzistor în funcție de cum este conectat în circuit față de tranzistor.

Dacă este conectat între baza și colectorul tranzistorului (pentru TB de tip NPN), fototranzistorul sub acțiunea luminii comandă deschiderea tranzistorului iar la întuneric comandă blocarea tranzistorului.

Dacă este conectat între baza și emitorul tranzistorului (pentru TB de tip NPN), fototranzistorul la întuneric comandă deschiderea tranzistorului iar la acțiunea luminii comandă blocarea tranzistorului.



**Figura 8.16 Circuit cu LED activat de prezența luminii**

În montajul din **fig.8.16 a**, întrerupătorul **K** este deschis iar lampa **H** este stinsă deoarece nu este alimentată cu tensiune. În lipsa unui flux de lumină fototranzistorul **FT1** este blocat, prin el nu circulă curent și se comportă ca un întrerupător deschis. În această situație baza tranzistorului **T1** este deconectată de la potențialul pozitiv al sursei de alimentare și este conectată prin intermediul rezistenței **R1** la potențialul negativ al sursei de alimentare. Acest lucru duce la blocarea tranzistorului **T1** deoarece tensiunea bază-emitor este mai mică decât tensiunea de prag iar curentul din bază este foarte mic.

Tranzistorul **T1** fiind blocat, prin tranzistor nu circulă curent iar **LED1** este stins.

În montajul din **fig.8.16 b**, întrerupătorul **K** este închis iar lampa **H** luminează deoarece este alimentată cu tensiune. În prezența unui flux de lumină fototranzistorul **FT1** intră în conducție, prin el circulă curent și se comportă ca un întrerupător închis. În această situație baza tranzistorului **T1** este conectată la potențialul pozitiv al sursei de alimentare prin intermediul fototranzistorului. Acest lucru duce la intrarea în conducție a tranzistorului **T1** deoarece tensiunea bază-emitor este mai mare decât tensiunea de prag iar curentul din bază crește.

Tranzistorul **T1** fiind în conducție, prin tranzistor circulă curent iar **LED1** luminează.

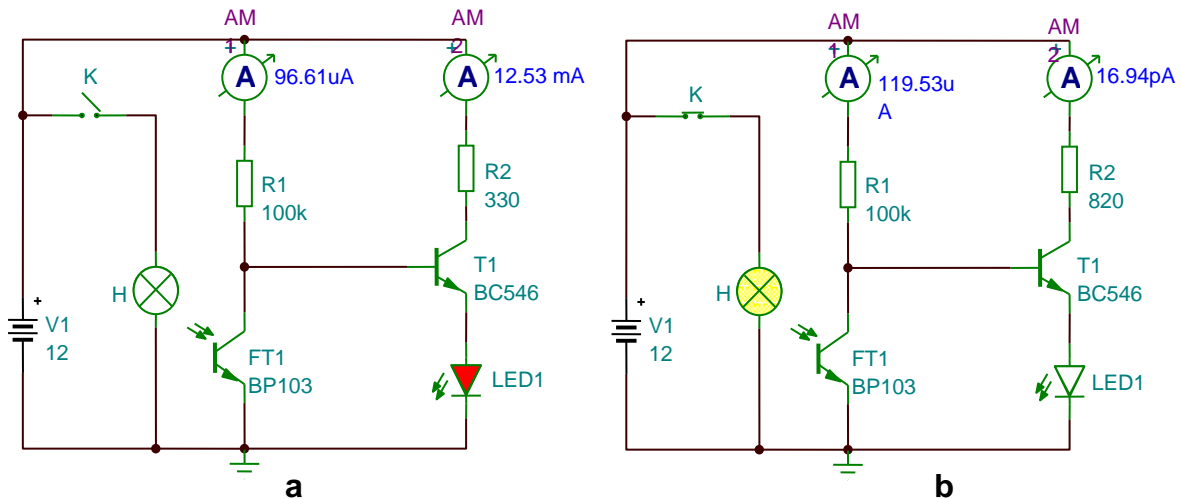


Figura 8.17 Circuit cu LED activat de prezența întunericului

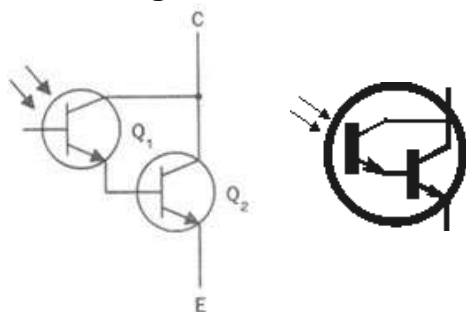
În montajul din **fig. 8.17 a**, întrerupătorul **K** este deschis iar lampa **H** nu luminează deoarece nu este alimentată cu tensiune. În lipsa unui flux de lumină fototranzistorul **FT1** este blocat, prin el nu circulă curent și se comportă ca un întrerupător deschis. În această situație baza tranzistorului **T1** este deconectată de la potențialul negativ al sursei de alimentare și este conectată la potențialul pozitiv al sursei de alimentare prin intermediul rezistenței **R1**. Acest lucru duce la intrarea în conducție a tranzistorului **T1** deoarece tensiunea bază-emitor este mai mare decât tensiunea de prag iar curentul din bază crește.

Tranzistorul **T1** fiind în conducție, prin tranzistor circulă curent iar **LED1** luminează.

În montajul din **fig. 8.17 b**, întrerupătorul **K** este închis iar lampa **H** luminează deoarece este alimentată cu tensiune. În prezența unui flux de lumină fototranzistorul **FT1** intră în conducție, prin el circulă curent și se comportă ca un întrerupător închis. În această situație baza tranzistorului **T1** este conectată la potențialul negativ al sursei de alimentare prin intermediul fototranzistorului. Acest lucru duce la blocarea tranzistorului **T1** deoarece tensiunea bază-emitor este mai mică decât tensiunea de prag.

Tranzistorul **T1** fiind blocat, prin tranzistor nu circulă curent iar **LED1** este stins.

În circuitele electronice de curenți mari se utilizează un dispozitiv fotoelectronic numit **fotodarlington**.



**Fotodarlington**, este o combinație dintre un fototranzistor și un tranzistor conectate ca în **figura 8.18**.

Figura 8.18 Structura și simbolul unui fotodarlington

## OBSERVAȚII IMPORTANTE!

- La conectarea în circuit, joncțiunea colector-emitor a fototranzistorului se conectează întotdeauna în serie cu un rezistor care limitează curentul prin fototranzistor;
- Fototranzistorul poate fi activat la prezența luminii situație în care rezistorul se conectează în emitor și semnalul de comandă se culege dintre emitor și "masa" montajului (figura 8.19. a);
- Fototranzistorul poate fi activat la prezența întunericului situație în care rezistorul se conectează în colector și semnalul de comandă se culege dintre colector și +V (figura 8.19. b);

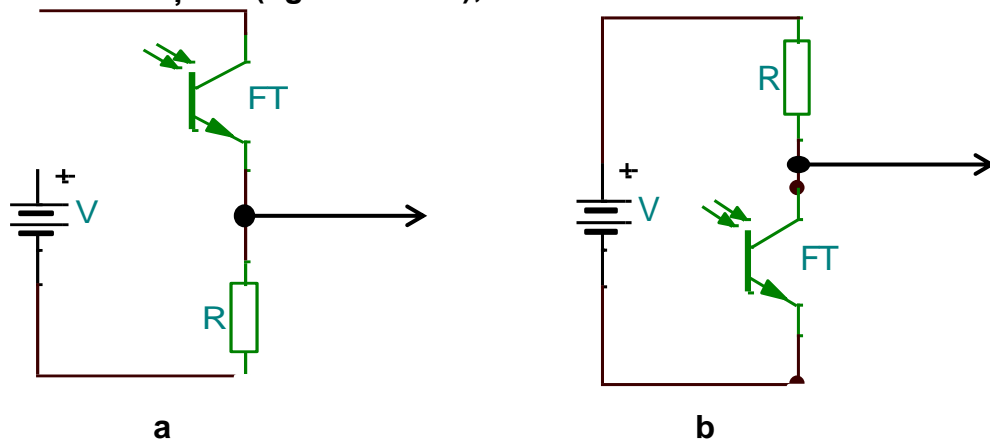


Figura 8.19 Conectarea unui fototranzistor în circuit

- Când regiunea fotosensibilă a fototranzistorului este expusă la lumină acesta generează un curent de bază ( $I_{\lambda}$ ) care comandă curentul din colector ( $I_C$ )

$$I_C = \beta_{CC} \cdot I_{\lambda}$$

## PARAMETRII PRINCIPALI AI FOTOTRANZISTOARELOR:

- Tensiunea colector-emitor (Collector-emitter voltage) - [ $V_{CE}$ ];
- Puterea disipată totală (Total power dissipation) - [ $P_{tot}$ ];
- Curentul de colector (Collector current) - [ $I_C$ ];
- Curentul de colector maxim (Collector surge current) - [ $I_{CS}$ ];
- Temperatura de stocare (Storage temperature) - [ $T_{STG}$ ].

Exemplu:

Parametrii principali ai fototranzistorului SFH 309

$V_{CE} = 35 \text{ V}$  ;  $P_{tot} = 165 \text{ mW}$  ;  $I_C = 15 \text{ mA}$  ;  $I_{CS} = 75 \text{ mA}$  ;  $T_{STG} = (-55 \dots +100)^\circ\text{C}$ .