CAPITOLUL 8. DISPOZITIVE OPTOELECTRONICE

8.1. DISPOZITIVE FOTODETECTOARE

8.1.1 FOTOREZISTORUL

Fotorezistorul – este un dispozitiv electronic, a cărui rezistenţă electrică se modifică sub acţiunea unui flux luminos care cade pe suprafaţa 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 şi este protejată prin acoperire cu lac sau prin încapsulare în material plastic (**figura 8.1**)

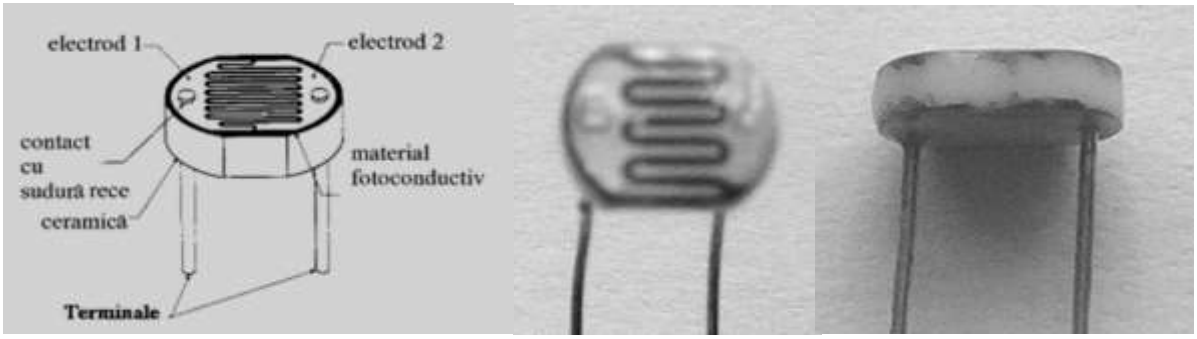


Figura 8.1 Fotorezistorul

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

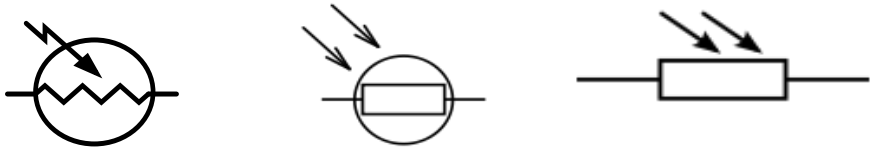
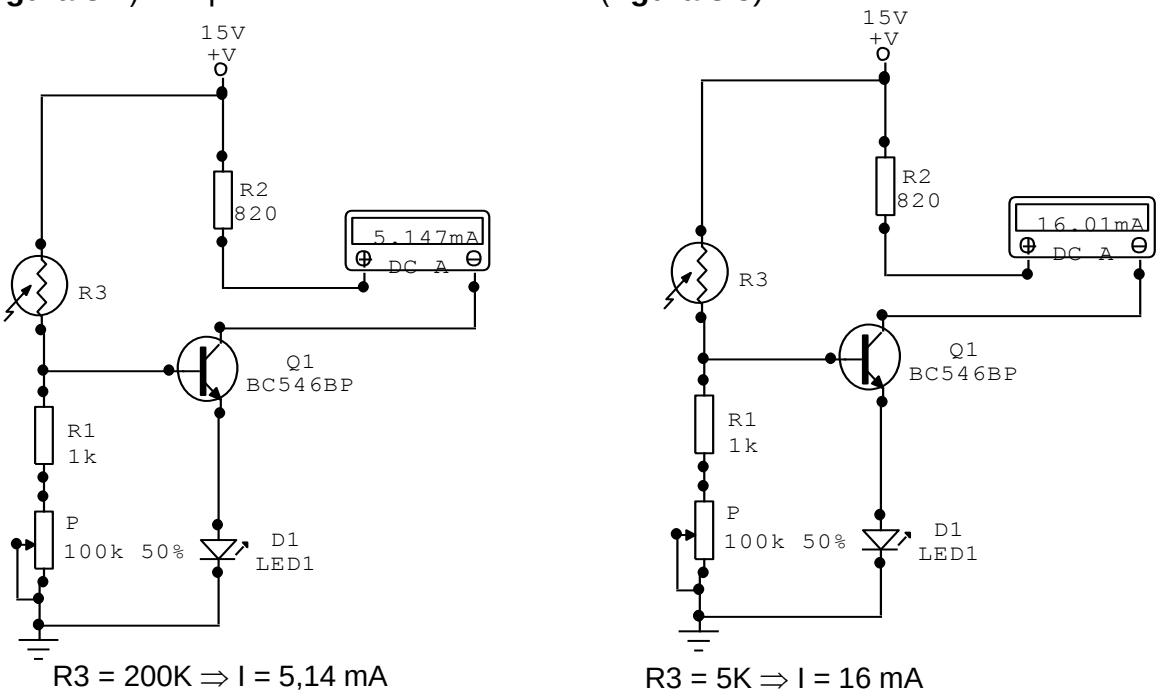


Figura 8.2 Simbolurile fotorezistorului

Rezistenţa electrică a fotorezistorului scade odată cu creşterea intensităţii fluxului luminos aplicat pe suprafaţa sensibilă a fotorezistorului. În **figura 8.3** se observă cum rezistenţa fotorezistorului se modifică în funcţie de gradul de acoperire a suprafeţei sensibile.

Figura 8.3 Comportarea fotorezistorului la modificarea intensităţii fluxului luminos

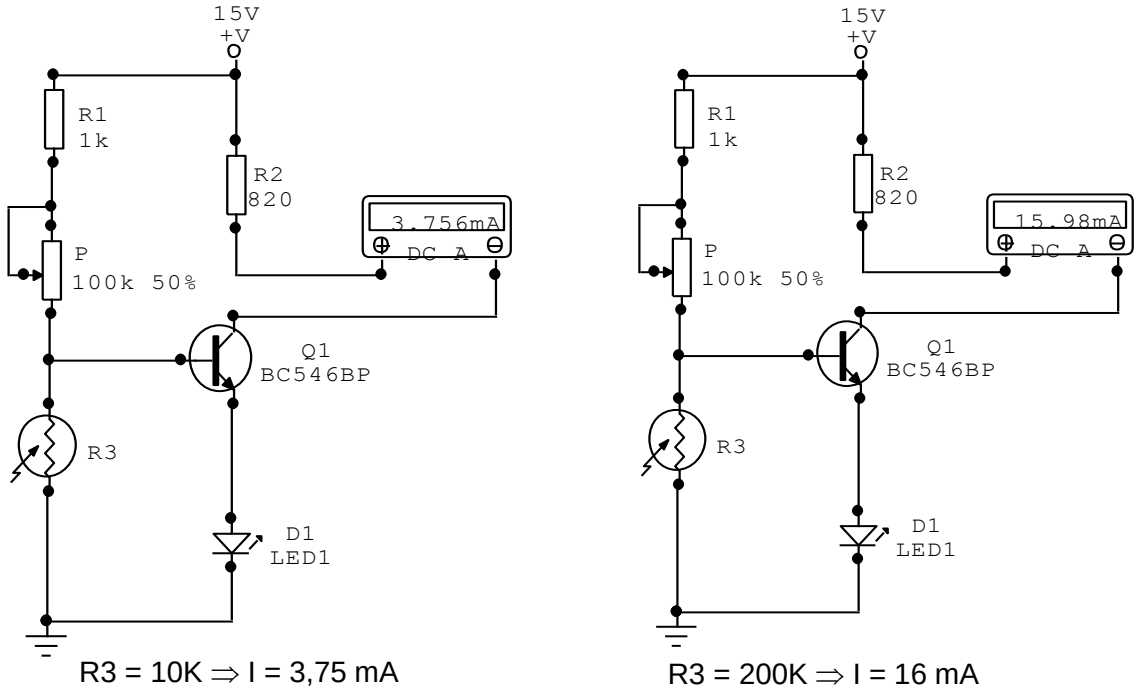
Conectat într-un circuit electric, fotorezistorul modifică intensitatea curentului din circuit. Intensitatea curentului creşte proporţional cu scăderea rezistenţei electrice a fotorezistorului, deci proporţional cu creşterea intensităţii fluxului luminos. În circuitele electronice, în funcţie de modul de conectare, fotorezistorul poate fi activat de lumină (**figura 8.4**) sau poate fi activat de întuneric (**figura 8.5**)



R3 = 200K ⇒ I = 5,14 mA

R3 = 5K ⇒ I = 16 mA

Figura 8.4 Montaj cu fotorezistor activat de lumină



R3 = 10K ⇒ I = 3,75 mA

R3 = 200K ⇒ I = 16 mA

Figura 8.5 Montaj cu fotorezistor activat de întuneric

Din potenţiometrul **P** se reglează sensibilitatea fotorezistorului **R3**.

Rezistenţa **R1** protejează fotorezistorul.

8.1.2 FOTODIODA

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

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

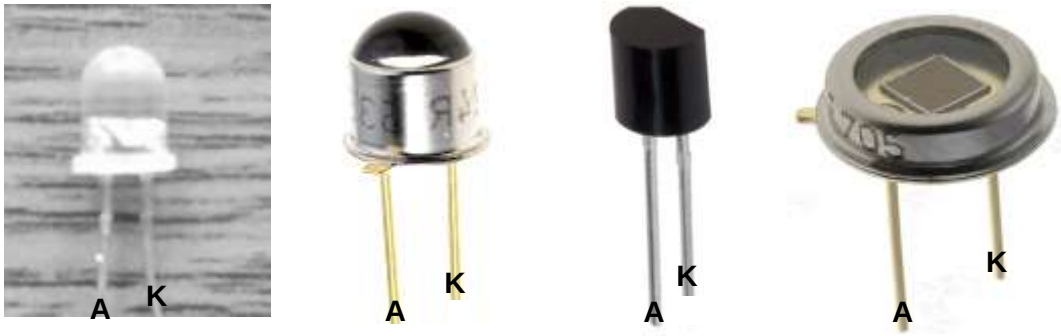


Figura 8.6 Fotodiode

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

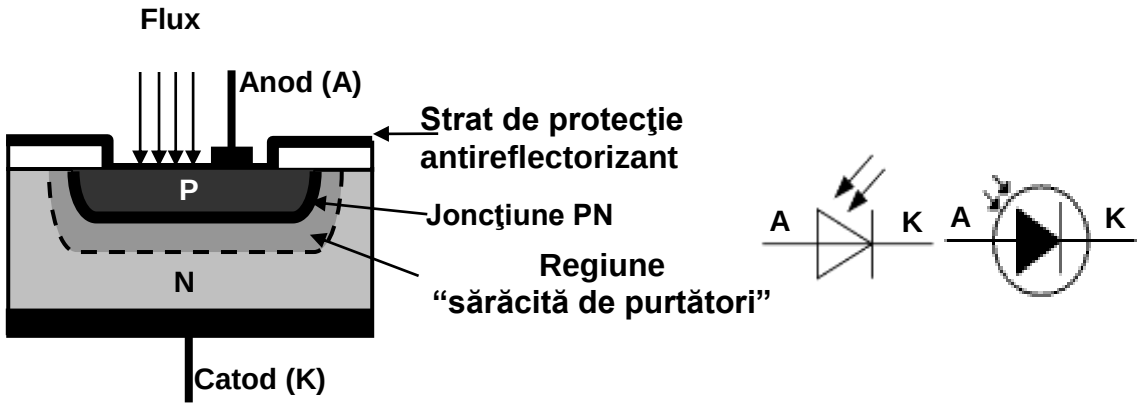


Figura 8.7 Structura şi simbolul fotodiodei

În structura fotodiodei materialul de bază este siliciul dopat **N**. La suprafaţa stratului N este creat un strat subţire **P**, prin implantarea ionică sau difuzia termică a unui material adecvat (de obicei se utilizează bor). Suprafaţa activă a fotodiodei este acoperită cu un stat subţire de protecţie, care este şi antireflectorizant, care poate fi monoxid sau bioxid de siliciu. Între cele două substraturi, P şi N, se formează **joncţiunea PN**. Regiunea care se formează în vecinătatea joncţiunii PN se numeşte "**regiune sărăcită de purtători**" deoarece în această regiune siliciul „ este golit" de purtători de sarcină liberi. Această regiune este foarte importantă în funcţionarea fotodiodei, ea îşi modifică adâncimea în funcţie de valoarea tensiunii inverse aplicată la terminalele fotodiodei. Capacitatea joncţiunii PN depinde de grosimea acestei regiuni. Cu cât tensiunea de polarizare inversă a fotodiodei creşte, se măreşte adâncimea regiunii şi scade capacitatea joncţiunii PN.

Identificarea terminalelor şi verificarea fotodiodei

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

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

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

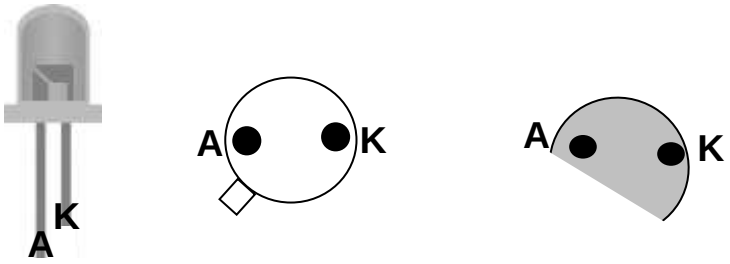
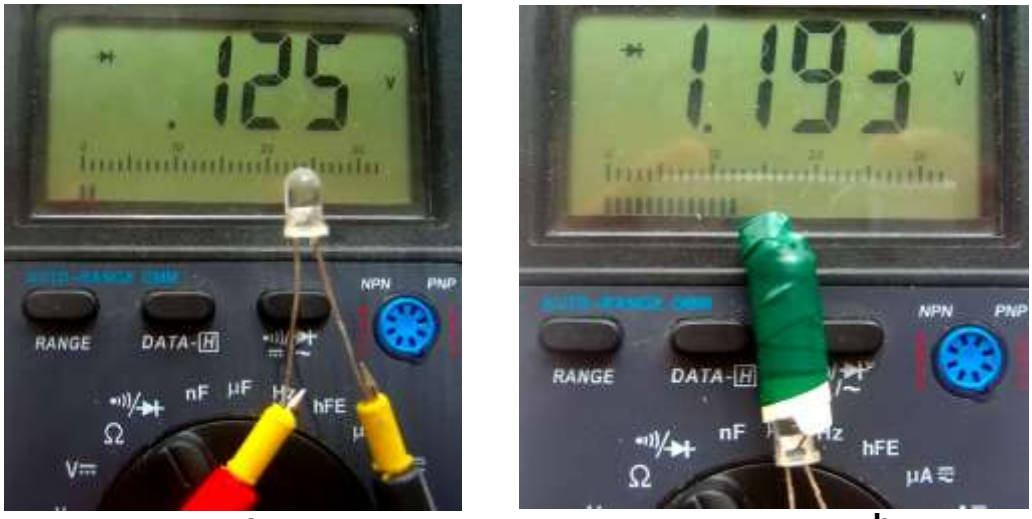


Figura 8.8 Identificarea terminalelor fotodiodei după forma capsulei

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



a **b**

Figura 8.9 Identificarea terminalelor şi verificarea fotodiodei cu multimetrul

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

- se fixează comutatorul multimetrului pe poziţia ;
- 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 situaţie, terminalul fotodiodei pe care este **tasta + a multimetrului** va fi **catodul (-) fotodiodei**;
- pentru a verifica funcţionarea fotodiodei, se astupă capsula acesteia, situaţie 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.

Funcţionarea şi conectarea în circuit a fotodiodei.

După cum am precizat anterior, regiunea „sărăcită de purtători” din jurul joncţiunii PN este foarte importantă în funcţionarea fotodiodei. Prin polarizarea inversă a fotodiodei această regiune se adânceşte şi permite curentului electric produs de radiaţiile luminoase să traverseze joncţiunea 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 numeşte **curent de lumină (I_{SC})**. Curentul prin diodă creşte proporţional cu intensitatea luminii. Când joncţiunea nu este luminată, curentul este aproape neglijabil şi se numeşte **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.

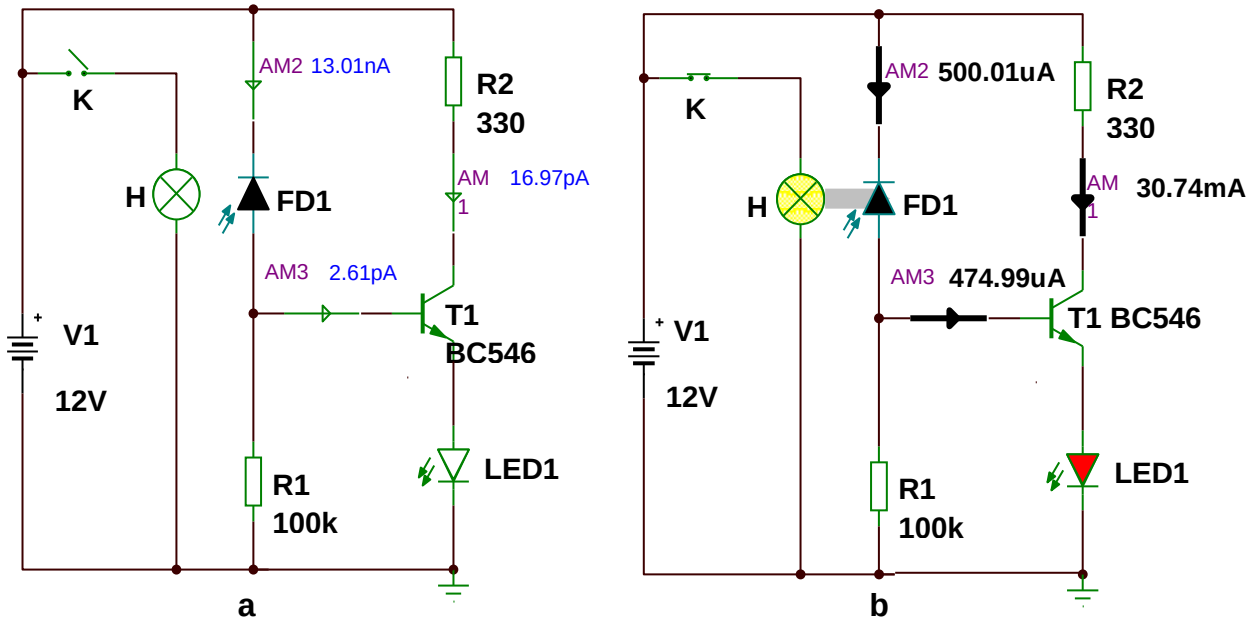


Figura 8.10 Comanda unui LED cu ajutorul unei fotodiode

Când asupra unei fotodiode polarizată invers, acţionează 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 situaţie 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 conducţie, deci prin circuitul bazei tranzistorului **T1** circulă curent. În această situaţie 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);**

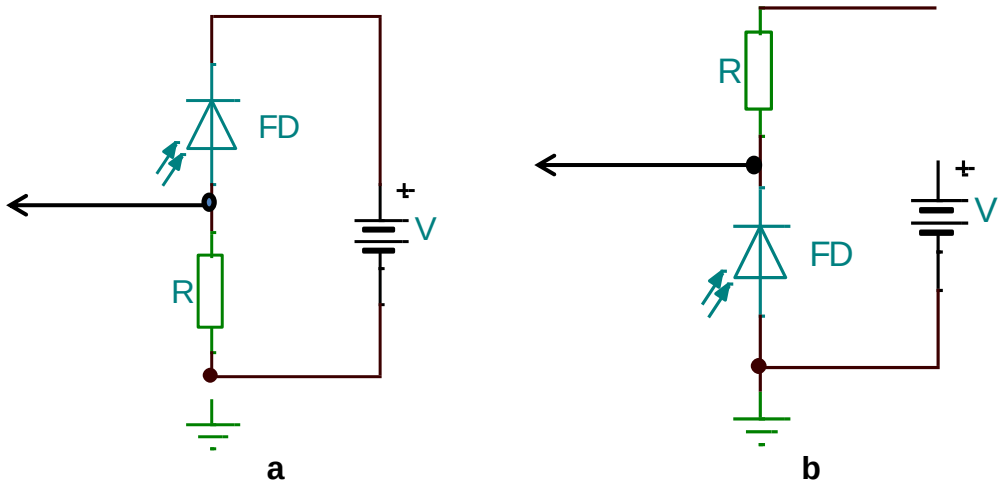


Figura 8.11 Conectarea fotodiodei într-un circuit

- **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 V ; P_{tot} = 100 mW ; I_F = 80 µA ; I_R = 1 nA ; I_{SC} = 80 µA;

2. Parametrii principali ai fotodiodei BPX 63:

V_R = 7 V ; P_{tot} = 200 mW ; I_F = 100 µA ; I_R = 5 pA ; I_{SC} = 10 µA.

8.1.3 FOTOTRANZISTORUL

Fototranzistorul este un tranzistor cu joncţiunea bază-colector fotosensibilă. Pentru fototranzistoare sunt două variante constructive: cu două terminale sau cu trei terminale. În configuraţia cu două terminale, baza nu este accesibilă, situaţie în care semnalul de intrare în fototranzistor este exclusiv lumina. În configuraţia cu trei terminale, baza se conectează în circuit şi asigură o stabilitate mai bună a punctului static de funcţionare faţă de variaţiile de temperatură.

Spre deosebire de fotodiodă, fototranzistorul are sensibilitatea mult mai mare dar în schimb are viteză de răspuns mai mică decât fotodioda (microsecunde faţă 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**).

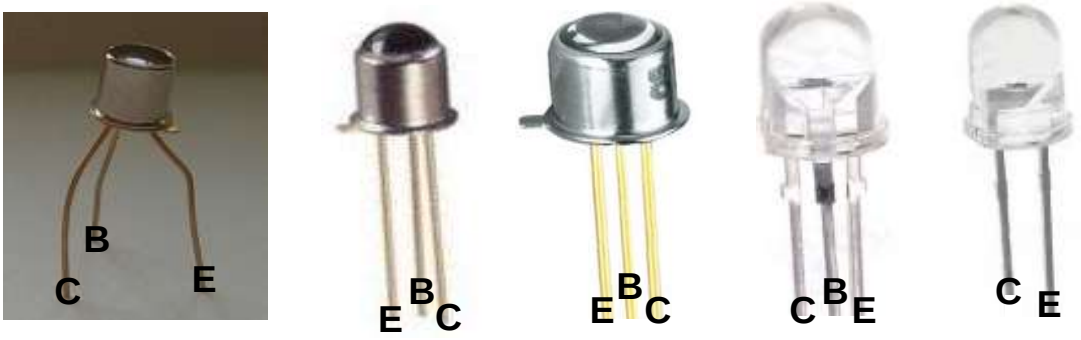


Figura 8.12 Fototranzistoare

În **figura 8.13** sunt prezentate structura şi simbolul fototranzistorului

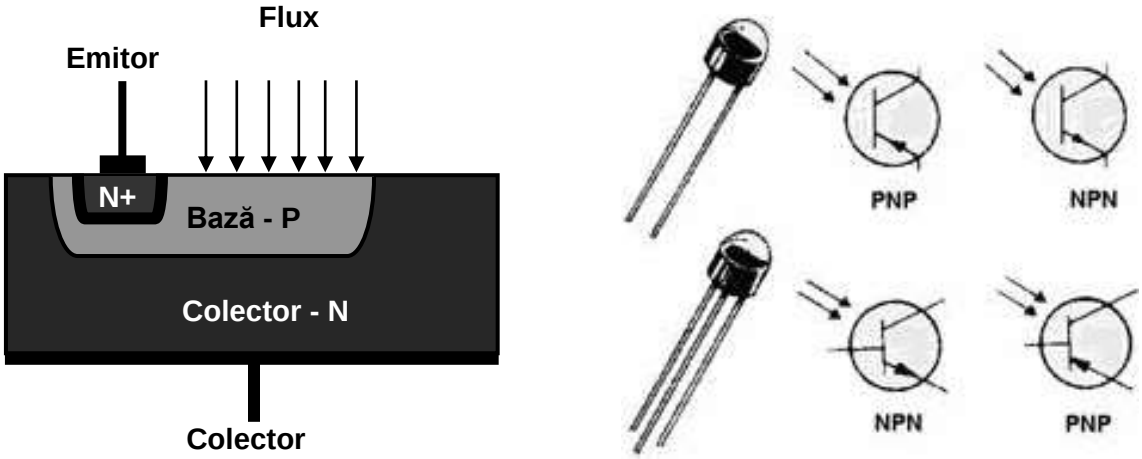


Figura 8.13 Structura şi simbolul fototranzistorului

Identificarea terminalelor şi verificarea fototranzistorului

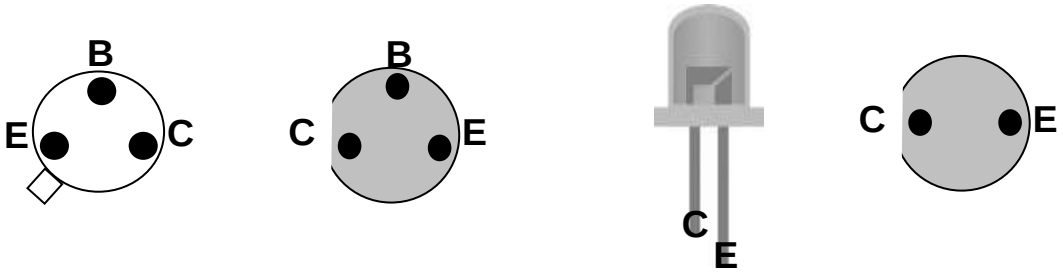


Figura 8.14 Identificarea terminalelor fototranzistorului după forma capsulei

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

a **b**

Figura 8.15 Identificarea terminalelor şi verificarea fototranzistorului cu multimetrul

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

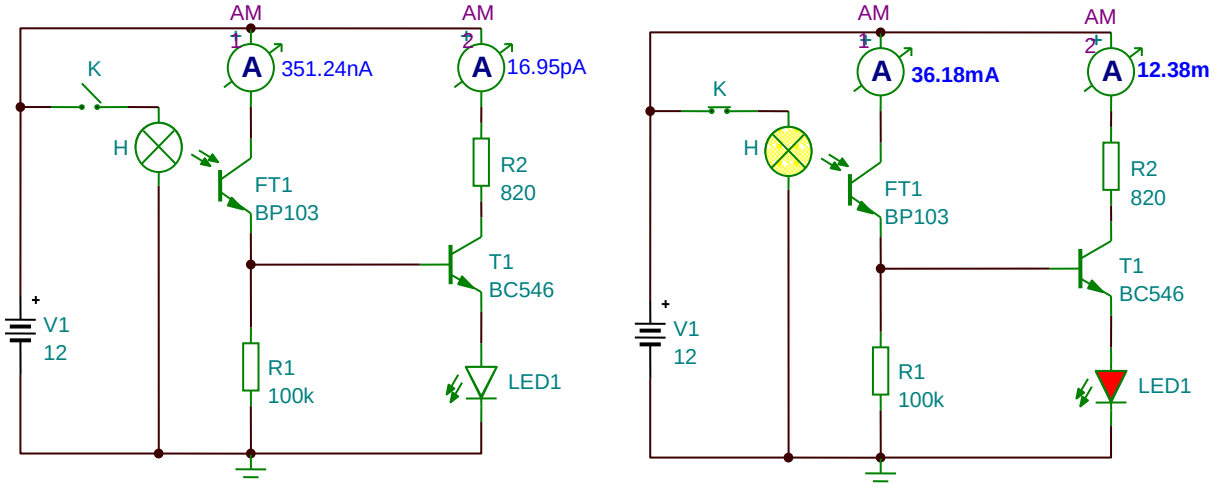
- se fixează comutatorul multimetrului pe poziţia ;
- se activează butonul iar pe display în stânga-sus apare ;
- se fixează tastele multimetrului la terminalele fototranzistorului în sensul în care acesta indică tensiune (**fig. 8.15 a**). În această situaţie, terminalul fototranzistorului pe care este **tasta + a multimetrului** va fi **colectorul (C) fototranzistorului. (ATENŢIE! Când se face această verificare capsula fototranzistorului se îndreaptă spre lumină)**;
- pentru a verifica funcţionarea fototranzistorului, se astupă capsula acestuia, situaţie 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 conducţie sau blocarea unui tranzistor în funcţie de cum este conectat în circuit faţă de tranzistor.

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

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



a **b**

Figura 8.16 Circuit cu LED activat de prezenţa 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 şi se comportă ca un întrerupător deschis . În această situaţie baza tranzistorului **T1** este deconectată de la potenţialul pozitiv al sursei de alimentare şi este conectată prin intermediul rezistenţei **R1** la potenţialul 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 prezenţa unui flux de lumină fototranzistorul **FT1** intră în conducţie, prin el circulă curent şi se comportă ca un întrerupător închis . În această situaţie baza tranzistorului **T1** este conectată la potenţialul pozitiv al sursei de alimentare prin intermediul fototranzistorului. Acest lucru duce la intrarea în conducţie a tranzistorului **T1** deoarece tensiunea bază-emitor este mai mare decât tensiunea de prag iar curentul din bază creşte.

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

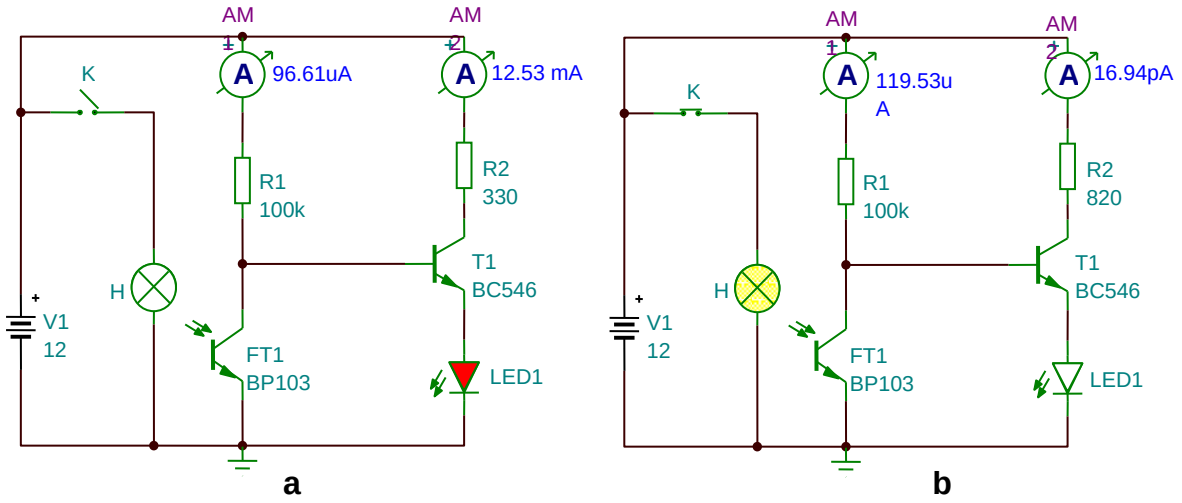
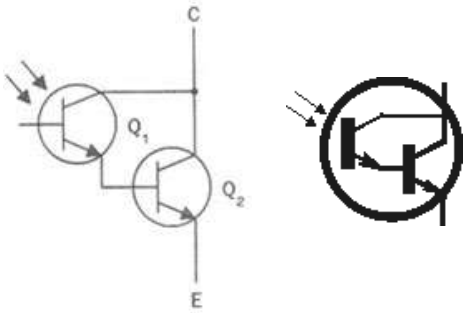


Figura 8.17 Circuit cu LED activat de prezenţa întunericului

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 şi se comportă ca un întrerupător deschis . În această situaţie baza tranzistorului **T1** este deconectată de la potenţialul negativ al sursei de alimentare şi este conectată la potenţialul pozitiv al sursei de alimentare prin intermediul rezistenţei **R1**. Acest lucru duce la intrarea în conducţie a tranzistorului **T1** deoarece tensiunea bază-emitor este mai mare decât tensiunea de prag iar curentul din bază creşte.
Tranzistorul **T1** fiind în conducţie, 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 prezenţa unui flux de lumină fototranzistorul **FT1** intră în conducţie, prin el circulă curent şi se comportă ca un întrerupător închis . În această situaţie baza tranzistorului **T1** este conectată la potenţialul 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 curenţi mari se utilizează un dispozitiv fotoelectronic numit **fotodarlington.**

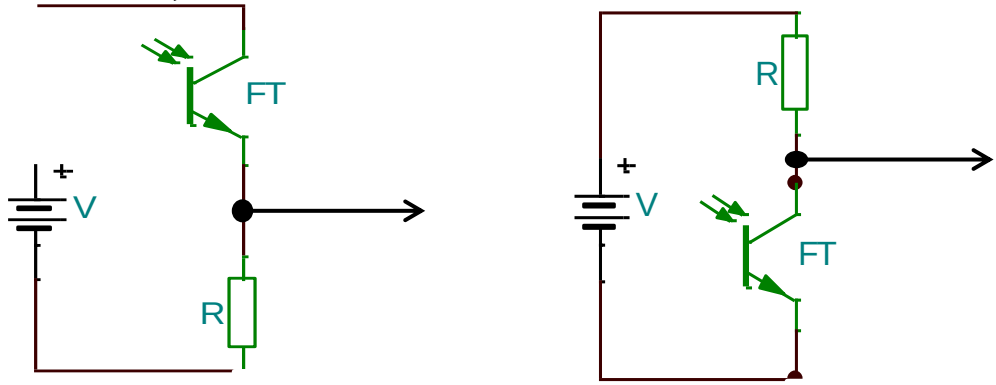


Fotodarlington, este o combinaţie dintre un fototranzistor şi un tranzistor conectate ca în **figura 8.18**.

Figura 8.18 Structura şi 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);**



a **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_λ) 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 V ; P_{tot} = 165 mW ; I_C = 15 mA ; I_{CS} = 75 mA ; T_{STG} = (-55 …+100)°C.

8.2. DISPOZITIVE FOTOEMIŢĂTOARE

8.2.1 DIODA LUMINISCENTĂ (LED)

LED (Light Emitting Diode) – este o diodă care are proprietatea de a emite lumină atunci când este polarizată direct.

Construcţia LED-ului

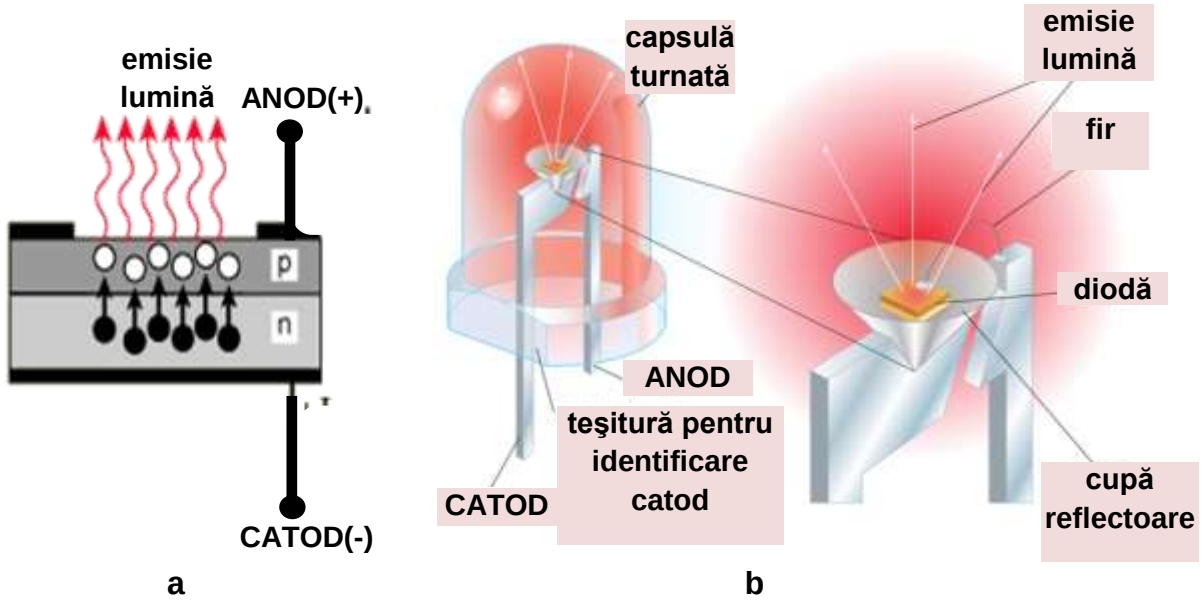


Figura 8.22 Structura constructivă a unui LED

LED-ul este construit dintr-o structură semiconductoare pn cu suprafaţă foarte mică (**figura 8.22 a**) care emite lumină. Această structură se realizează din aliaje semiconductoare speciale. La construcţia structurii semiconductoare nu se utilizează siliciu sau germaniu deoarece se încălzesc şi nu emit bine lumină. Această structură care mai poartă denumirea de ***diodă*** este amplasată într-o ***cupă reflectoare*** (**figura 8.22 b**) şi este conectată la terminalele diodei (***ANOD*** şi ***CATOD***). Toate aceste elemente sunt încapsulate. Aceste capsule se realizează din răşini sintetice de diverse culori şi sub diverse forme. Culoarea radiaţiei luminoase depinde de aliajul utilizat la realizarea structurii semiconductoare:

- roşu, infraroşu – AlGaAs (Aluminiu – Galiu - Arsen);
- verde – AlGaP (Aluminiu - Galiu - Fosfor);
- roşu-orange, orange, galben, verde – AlGaInP (Aluminiu–Galiu–Indiu-Fosfor);
- roşu, roşu-orange, orange, galben – GaAsP (Galiu - Arsen - Fosfor);
- roşu, galben, verde – GaP (Galiu - Fosfor);
- verde, verde-smarald, albastru – GaN (nitrură de galiu);
- ultraviolet apropiat, albastru-verzui, albastru – InGaN (nitrură indiu-galiu);
- albastru – ZnSe (zinc-seleniu);
- ultraviolet – Diamant (C) (Carbon);
- de la ultraviolet apropiat pana la ultraviolet îndepărtat–AlN, AlGaN (nitruri Al, Ga).

Funcţionarea LED-ului

Între semiconductorul de tip N şi semiconductorul de tip P al diodei LED-ului se formează o joncţiune PN. La frontiere joncţiunii electronii difuzează din partea N în partea P şi se recombină cu golurile de aici, iar golurile difuzează din parte P în partea N şi se recombină cu electronii de aici. În consecinţă se formează o ***regiune sărăcită de purtători***, în care nu există nici electroni liberi şi nici goluri libere, ce formează o barieră care nu mai permite recombinarea electronilor din partea N cu golurile din partea P.

Prin polarizarea directă a joncţiuni PN, bariera creată de regiunea sărăcită de purtători este străpunsă, electronii din partea N sunt atraşi către terminalul pozitiv al sursei de alimentare iar golurile din partea P sunt atrase către terminalul negativ al sursei de alimentare. Atât electronii cât şi golurile ajung în regiunea sărăcită de purtători unde se recombină şi eliberează energie sub formă de căldură şi lumină.

La LED-uri, prin construcţia acestora, majoritatea combinărilor electron-gol eliberează fotoni sub formă de lumină în spectrul vizibil. Acest proces se numeşte **electroluminescenţă**.

Intensitatea radiaţiilor luminoase produse de LED sunt direct proporţionale cu intensitatea curentului direct prin joncţiunea PN a LED-ului.

Un LED emite lumină într-un anumit domeniu de lungimi de undă (în funcţie de aliajul utilizat la construcţia diodei LED-ului). Lungimea de undă (λ) este exprimată în nanometri (**nm**) şi încadrează lumina în spectrul vizibil sau invizibil:

λ= 460 nm – lumină albastră	**(400nm – 540 nm)**
λ= 540 nm – lumină verde	**(460 nm – 620 nm)**
λ= 590 nm – lumină galbenă	**(520 nm – 680 nm)**
λ= 660 nm – lumină roşie	**(580 nm – 740 nm)**
λ= 940 nm – radiaţie invizibilă (infraroşu)	**(740 nm – 20.000 nm)**

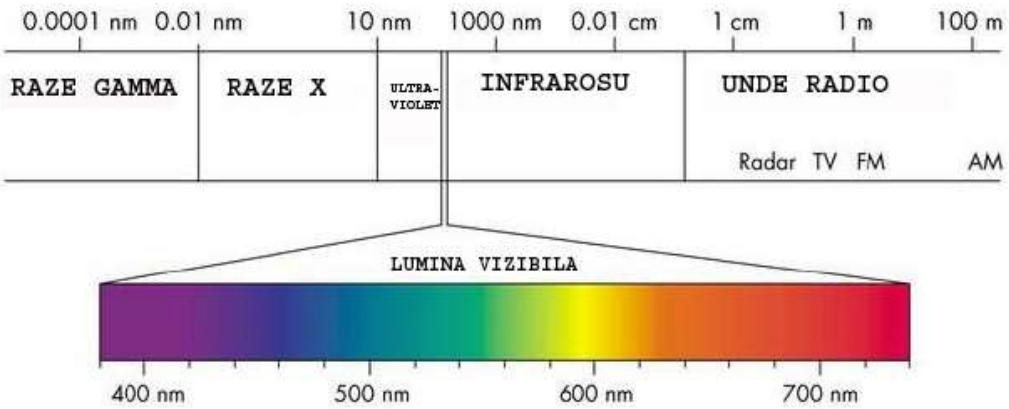


Figura 8.23 Spectrul radiaţiilor electromagnetice

Parametrii electrici ai LED-urilor:

- **Curentul direct (I_F)** – reprezintă curentul maxim suportat de LED la polarizare directă. Valoarea maximă a acestui curent este de 50 mA pentru LED-urile ce emit în spectrul vizibil respectiv 100 mA pentru LED-urile ce emit în infraroşu. **În majoritatea cazurilor se alege I_F = 20 mA**;

- **Tensiunea directă (V_F)** – reprezintă tensiunea ce trebuie aplicată la bornele LED-ului pentru ca acesta să emită radiaţii luminoase. Valoarea acestei tensiuni variază între 1,6 V şi 4,5 V, în funcţie de culoarea luminii emise;

TABELUL 8.2

Culoare LED	TENSIUNE DIRECTĂ		CURENT DIRECT	
	TIPIC	MAXIM	TIPIC	MAXIM
ROȘU	1,6 V	2 V	10 mA	20 mA
VERDE	2,2 V	3 V	10 mA	20 mA
GALBEN	2,2 V	3 V	10 mA	20 mA
ALBASTRU	3,8 V	4,5 V	20 mA	20 mA

- **Tensiunea inversă (V_R)** – reprezintă tensiunea maximă inversă care o poate suporta LED-ul fără a se distruge (tipic **3V – 10V**).

Caracteristica statică a LED-ului - $I_F = f(U_F)$

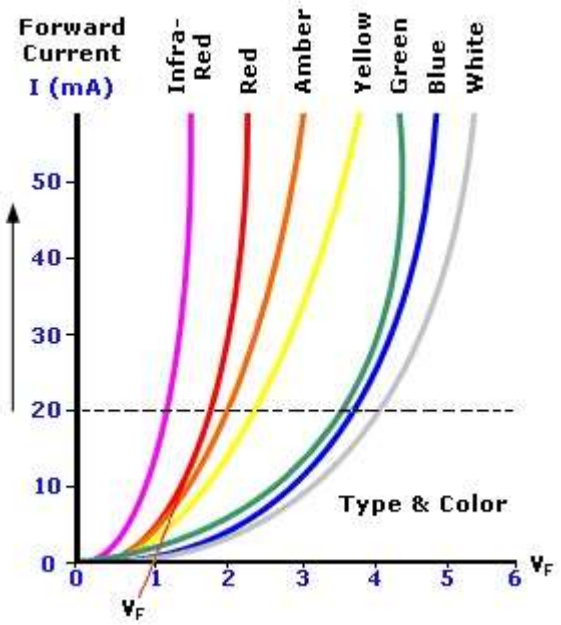


Figura 8.24 Caracteristica statică de ieșire a LED-ului

Identificarea terminalelor şi verificarea LED-ului.

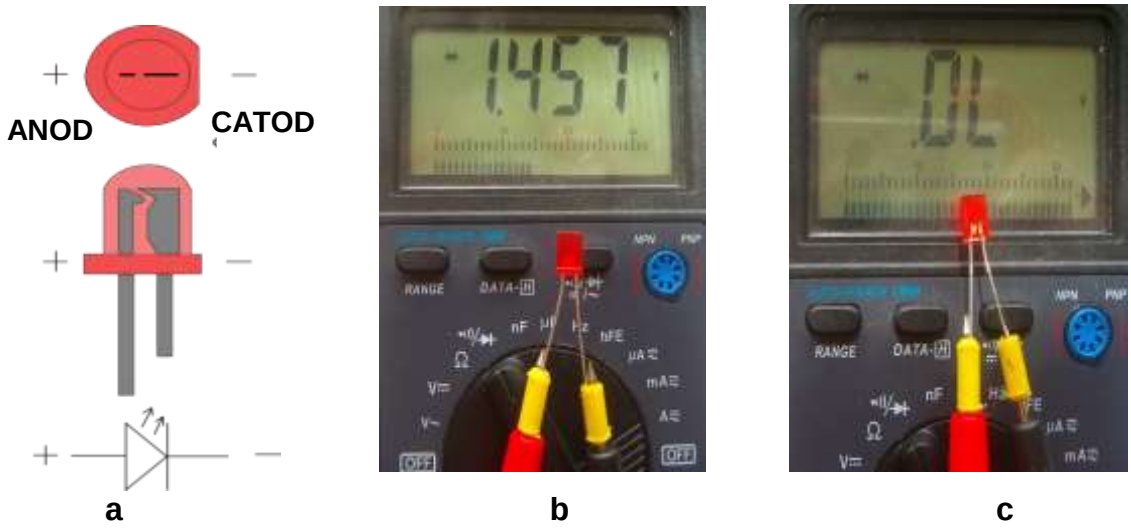


Figura 8.25 Identificarea terminalelor unui LED

Identificarea terminalelor unui LED se face vizual sau prin măsurare cu multimetrul.

La identificarea vizuală (**fig. 8.25 a**) **ANODUL (+)** este terminalul **mai lung** sau **mai subţire**. Dacă capsula este rotundă şi prezintă o teşitură, în dreptul teşiturii este **CATODUL (-)** LED-ului.

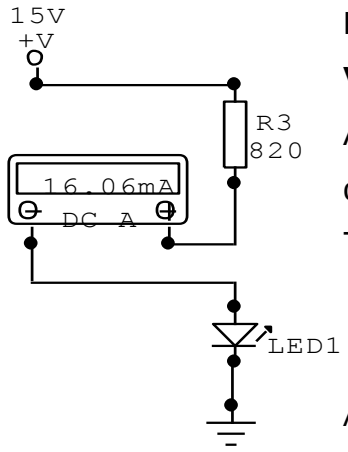
Identificarea terminalelor prin măsurare cu multimetrul se face astfel:

- se fixează comutatorul multimetrul pe poziţia ;
- se activează butonul iar pe display în stânga-sus trebuie să apară ;
- se fixează tastele multimetrul la terminalele LED-ului în sensul în care acesta indică tensiune (**fig. 8.25 b**). În această situaţie, terminalul LED-ului pe care este **tasta + a multimetrului** va fi **ANODUL (+) LED-ului**;
- dacă se schimbă polaritatea tastelor la terminalele LED-ului, multimetrul indică 0 V (**figura 8.25 c**).

Conectarea LED-ului în circuit

Un LED se conectează într-un circuit electric, întotdeauna în serie cu un rezistor care limitează valoare intensităţii curentului prin LED.

Calculul rezistenţei rezistorului R (conectat în serie cu LED-ul).



Din datele de catalog ale LED-ului rezultă:

V_F = 1,7V ; I_F = 20 mA.

Aleg tensiunea de alimentare **V_{CC}** = **15 V** şi curentul prin LED **I_{LED} = 16 mA.**

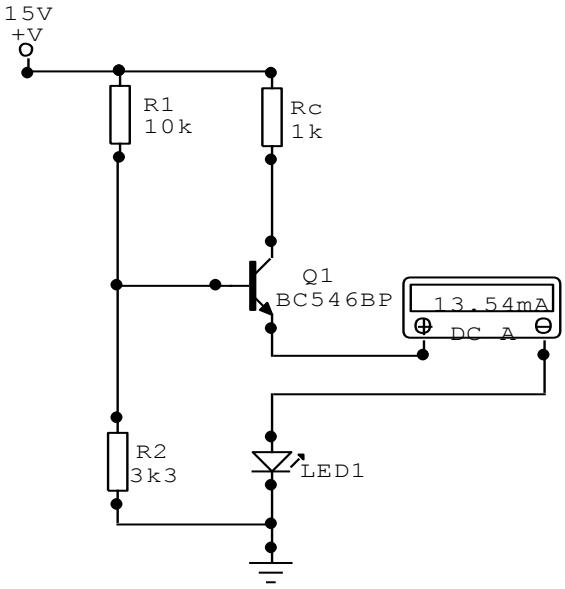
Trebuie să calculez **R1 = ?**

$$R[\Omega] = \frac{V_{CC}[V] - V_{LED}[V]}{I_{LED}[mA]} \cdot 1000 = \frac{15 - 1,7}{16} \cdot 1000 = 831,25$$

Aleg **R1 = 820 Ω** (valoare standard).

Figura 8.26 Conectarea unui LED în circuit

Conectarea LED-ului în circuit cu un tranzistor



$$Rc = \frac{Vc - (V_{LED} + V_{CE})}{I_{LED}[mA]} \cdot 1000$$

$$Rc = \frac{15 - (1,7 + 0,02)}{14} \cdot 1000 = 948,5\Omega$$

Aleg Rc= 1K

Figura 8.27 Conectarea unui LED în circuit cu un tranzistor

Valoarea intensităţii curentului din colectorul tranzistorului nu este stabilită numai de valoarea rezistorului **Rc** ci şi de valoarea curentului din baza tranzistorului care depinde de valorile rezistoarelor **R1** şi **R2** din divizorul de tensiune. Dacă modificăm valorile rezistoarelor **R1** şi **R2** se modifică şi curentul prin tranzistor, implicit prin LED.

8.2.2 CELULA DE AFIŞAJ 7 SEGMENTE CU LED-uri.

Afişajul este format din **7 segmente** (**figura 8.28**). Fiecare segment de afişaj este un led. Prin combinaţii ale segmentelor se formează cele zece cifre de la **0** la **9**. Prin polarizarea directă a segmentelor , în diverse combinaţii, se poate forma orice cifră a sistemului zecimal. Afişajele 7 segmente se construiesc în două variante: cu anodul comun şi cu catodul comun şi sunt prevăzute cu 10 terminale (**figura 8.29**)

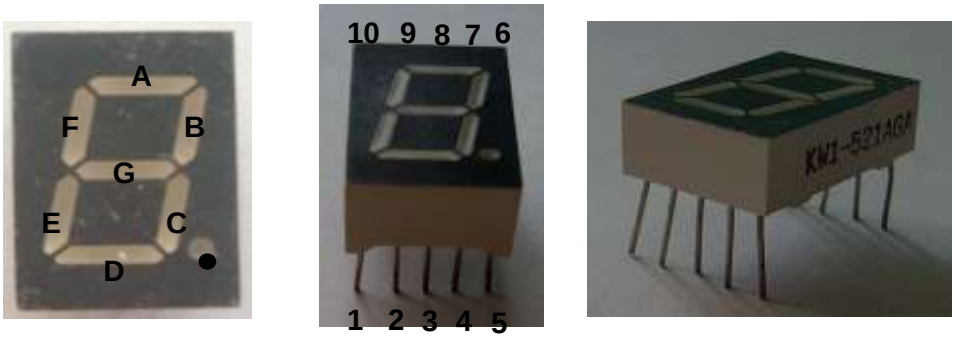


Figura 8.28 Afişaj 7 segmente - aranjarea segmentelor-numerotarea terminalelor

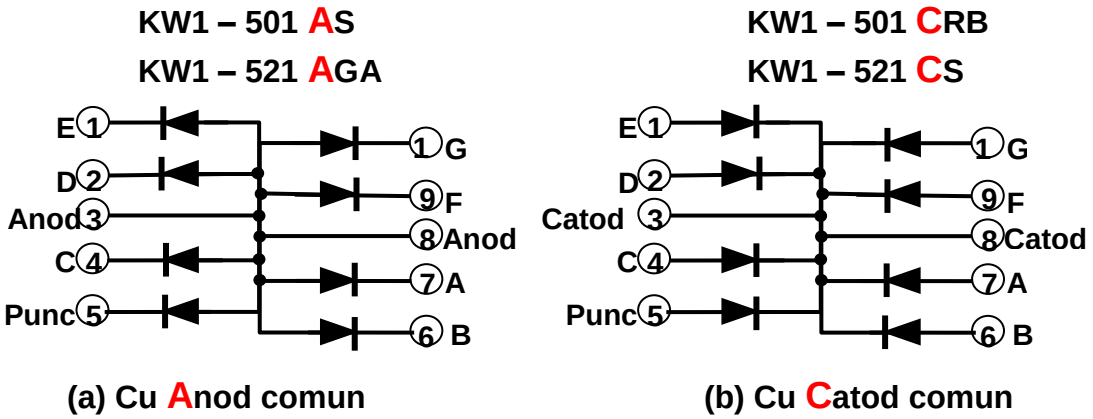


Figura 8.29 Structură afişaj 7 segmente

Pentru activarea unui segment acesta se polarizează direct.

La afişajele cu **Anod** comun, anodul se conectează spre polul pozitiv al sursei (**+**) iar segmentul care se activează se conectează spre polul negativ al sursei (**-**).

La afişajele cu **Catod** comun, catodul se conectează spre polul negativ al sursei (**-**) iar segmentul care se activează se conectează spre polul pozitiv al sursei (**+**).

Un segment are următorii parametrii electrici:

Tensiunea directă de polarizare **Vf = 1,9 V – 2,2 V** (în funcţie de culoarea segmentelor)

Curentul direct **If = 10 mA – 20 mA**.

Verificarea afişajului 7 segmente

Verificarea afişajului se poate face cu multimetrul după cum se vede în **figura 8.30**

Figura 8.30 Verificare afişaj 7 segmente

Pentru verificarea afişajului 7 segmente se parcurg următoarele etape:

- se fixează comutatorul multimetrului pe poziţia ;
- se activează butonul iar pe display în stânga-sus trebuie să apară ;
- la afişajul cu **anodul comun** (**figura 8.30**), tasta (+) a multimetrului se fixează pe terminalul **3** sau **8** a afişajului (anozi) iar cealaltă tastă(-) se conectează pe rând la celelalte terminale ale afişajului. Pentru fiecare conectare multimetrul trebuie să indice o anumită tensiune (**figura 8.30**), în funcţie de tipul afişajului;
- la afişajul cu **catodul comun**, tasta (-) a multimetrului se fixează pe terminalul **3** sau **8** a afişajului (catozi) iar cealaltă tastă(+) se conectează pe rând la celelalte terminale ale afişajului. Pentru fiecare conectare multimetrul trebuie să indice o anumită tensiune (**figura 8.30**), în funcţie de tipul afişajului;
- dacă se inversează polaritatea tastelor multimetrul va indica **0V**.

În schemele electronice, afişajul 7 segmente se utilizează împreună cu un decodificator 7 segmente, care este un circuit integrat specializat pentru această funcţie (CDB 446, CDB 447, SN7447, etc. – pentru **anod comun** ; CDB 448, MMC4248, SN7448, etc. –pentru **catod comun**).

Conectarea şi verificarea afişajului 7 segmente în circuit.

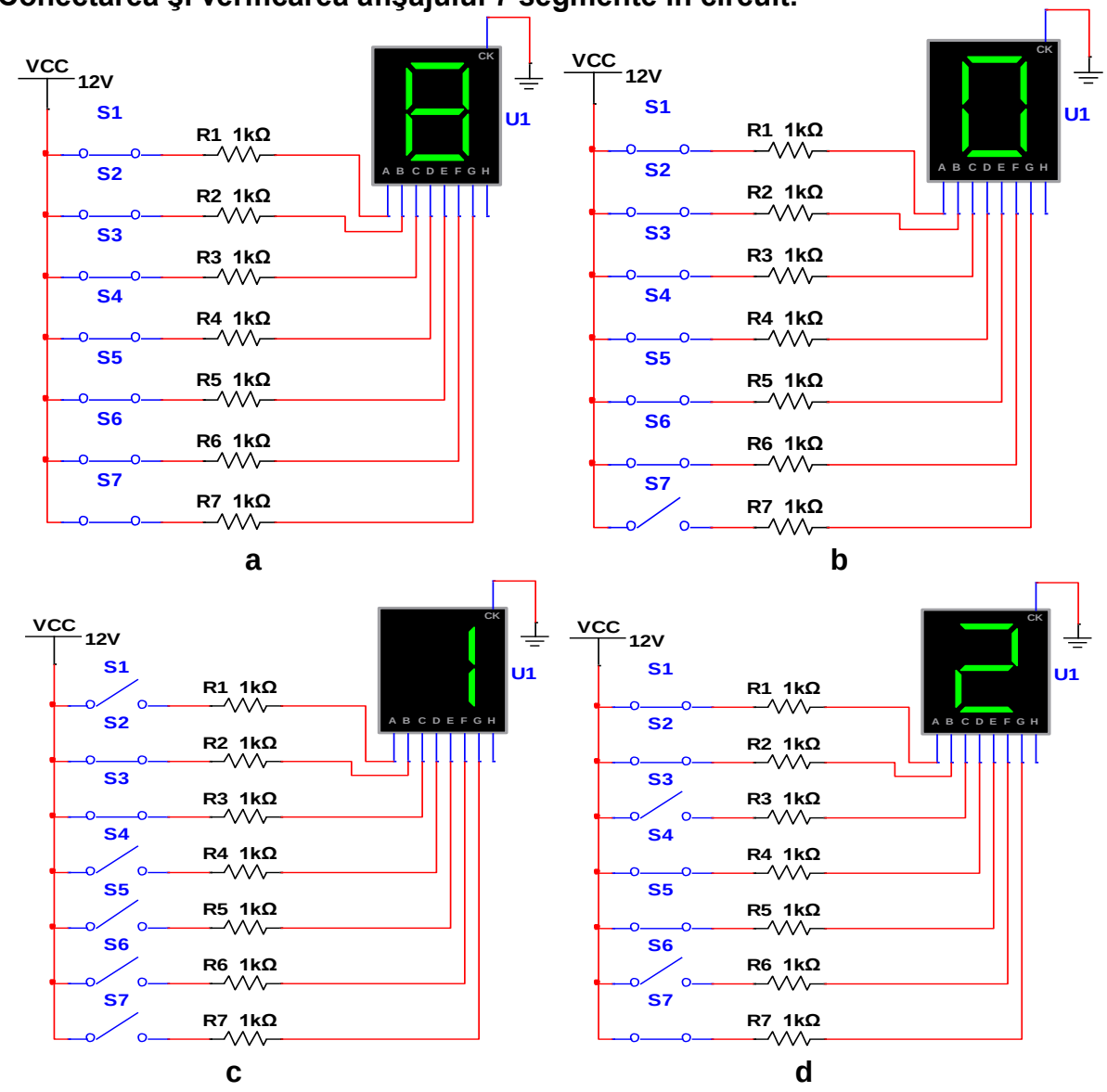


Figura 8.31 Conectarea unui afişaj 7 segmente în circuit

În circuitele din figura 8.31, segmentele afişajului sunt conectate prin intermediul unor rezistenţe la întrerupătoarele **S**. Deoarece afişajul este cu catodul comun, catodul se conectează la masa montajului **(-)** iar întrerupătoarele **S** se conectează la borna **(+)**.

La închiderea unui întreruptor luminează segmentul corespunzător întreruptorului respectiv (S1-A, S2-B, S3-C, S4-D, S5-E, S6-F, S7-G).

În **figura 8.31. a** sunt închise toate întrerupătoarele, luminează toate segmentele care formează cifra **8.**

În **figura 8.31. b** sunt închise toate întrerupătoarele mai puţin întrerupătorul **S7**, luminează toate segmentele mai puţin segmentul **G**, care formează cifra **0.**

În **figura 8.31. c** sunt închise întrerupătoarele **S3** şi **S4**, luminează segmentele **B** şi **C** care formează cifra **1.**

În **figura 8.31. d** sunt închise întrerupătoarele **S1**, **S2**, **S4, S5, S7** luminează segmentele **A, B, D, E**, **G** care formează cifra **2.**

8.3. MODULATOARE OPTOELECTRONICE

8.3.1 CUPLOARE OPTICE

Cuplorul optic –este un dispozitiv optoelectronic format dintr-un emiţător (LED) şi un receptor de lumină (fotodiodă, fototranzistor, fototiristor, etc.) aşezate faţă în faţă la distanţă mică în aceeaşi capsulă opacă. Scopul principal al optocuplorului este de realiza o izolare electrică totală între un circuit de intrare şi unul de ieşire

a. Structura cuplorului optic

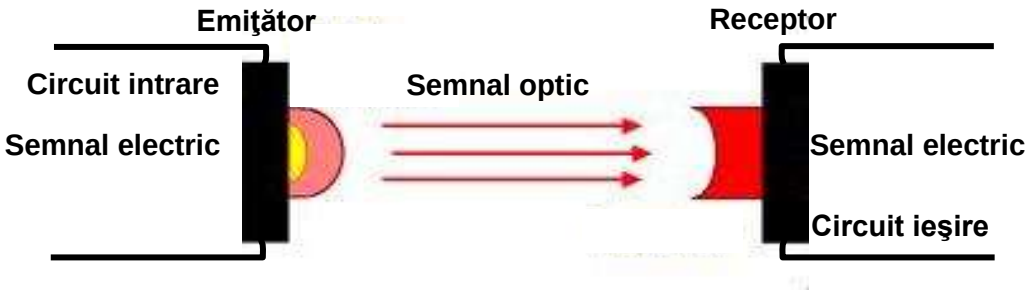


Figura 8.32 Structura unui cuplor optic

Circuitul de intrare sau emiţătorul unui cuplor optic este, de obicei, un LED. Acesta primeşte semnal electric şi emite semnal optic.

Circuitul de ieşire sau receptorul unui cuplor optic poate fi: fotodiodă, fototranzistor, fotodarlington, fototiristor, fototriac. Acesta transformă semnalul optic în semnal electric.

Cele două dispozitive (de intrare şi de ieşire) se află în aceeaşi capsulă la distanţă mică şi sunt cuplate optic împreună, dar sunt izolate perfect din punct de vedere electric.

Când la intrarea cuplorului optic se aplică un semnal electric, la ieşirea cuplorului se obţine un semnal electric. Prin urmare, cuplorul optic transmite o comandă electrică prin intermediul luminii, asigurându-se o izolare perfectă din punct de vedere electric între circuitul de intrare şi circuitul de ieşire. Informaţiile se transmit strict într-un singur sens, de la circuitul de intrare spre circuitul de ieşire, fără reacţie în sens invers

b. Tipuri constructive de cuploare optice

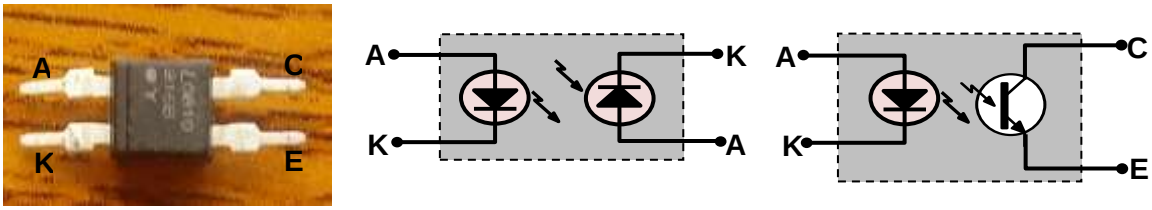


Figura 8.33 Cuplor optic cu 4 terminale

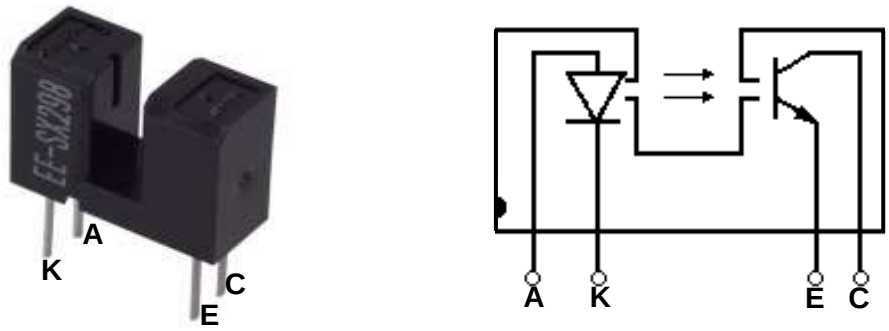


Figura 8.34 Comutator optoelectronic

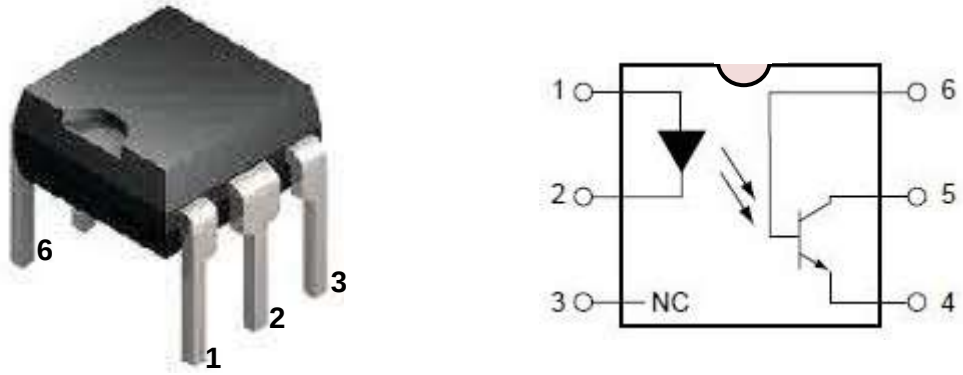


Figura 8.35 Cuplor optic cu 6 terminale

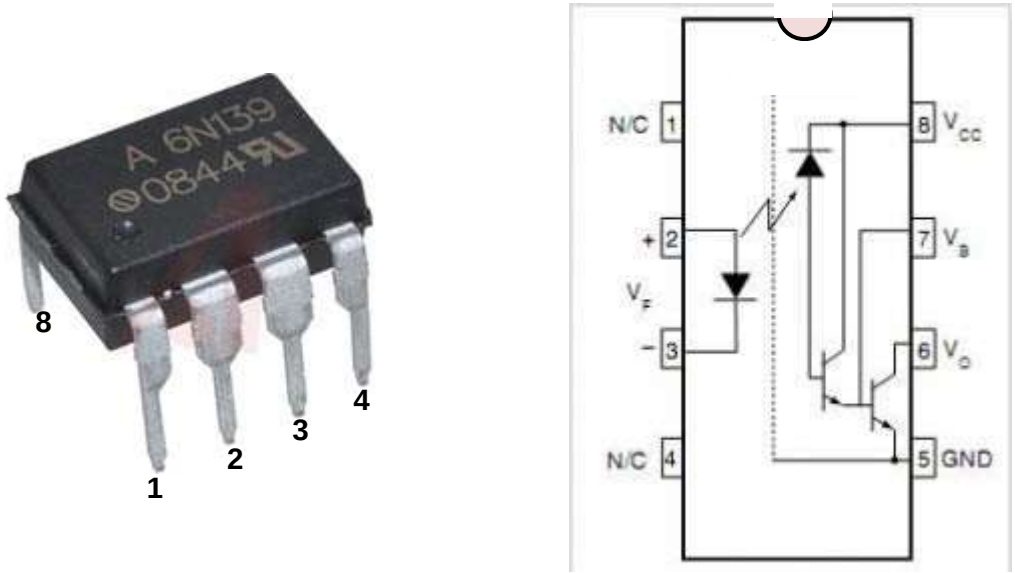
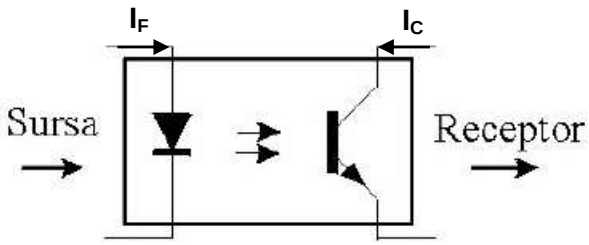
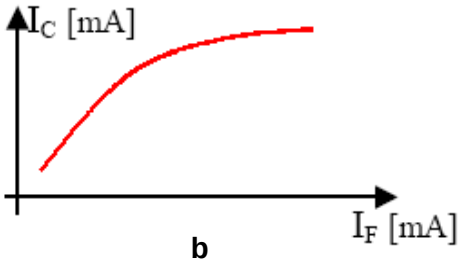


Figura 8.36 Cuplor optic cu 8 terminale (fotodarlington)

c. Parametrii unui optocuplor



a



b

■ **Absolute Maximum Ratings** (Ta= 25°C)

Parameter		Symbol	Ratings	Unit
Input	Forward current	I_F	50	mA
	*1Peak forward current	I_{FM}	1	A
	Reverse voltage	V_R	6	V
	Power dissipation	P	70	mW
Output	Collector-emitter voltage	V_{CEO}	70	V
	Emitter-collector voltage	V_{ECO}	6	V
	Collector current	I_C	50	mA
	Collector power dissipation	P_C	150	mW
Total power dissipation		P_{tot}	200	mW
*2 Isolation voltage		V_{iso}	5	kV_{rms}
Operating temperature		T_{opr}	- 30 to + 100	°C
Storage temperature		T_{stg}	- 55 to + 125	°C
*3 Soldering temperature		T_{sol}	260	°C

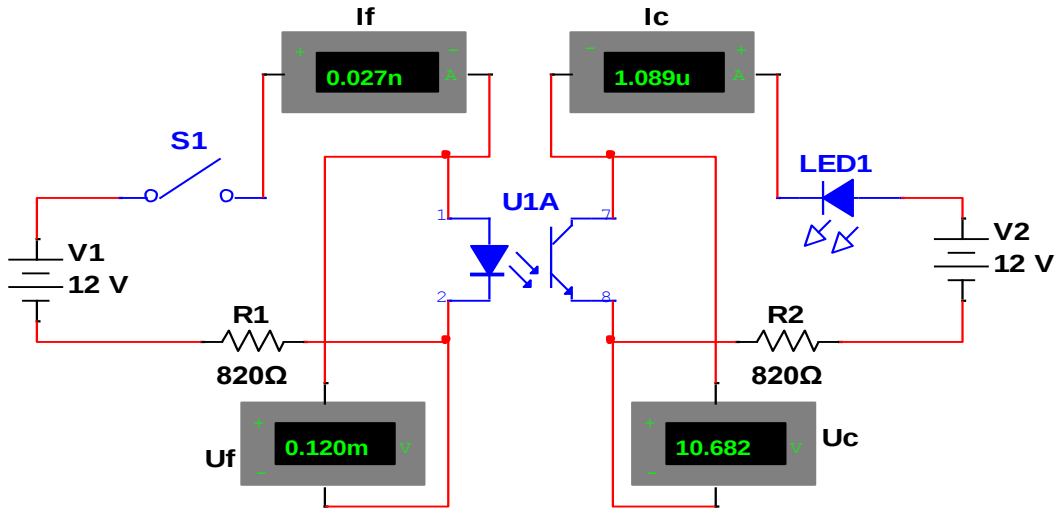
c

Figura 8.37 Parametrii optocuplorului PC123

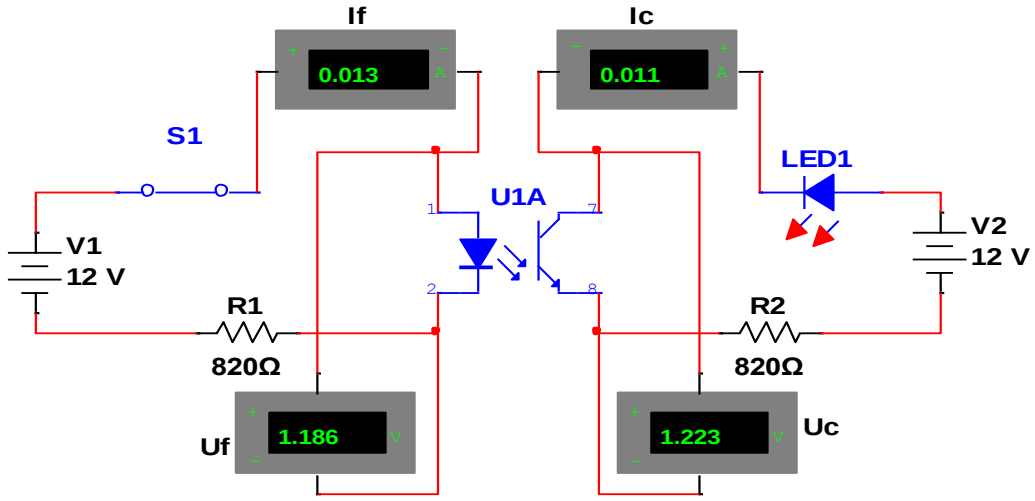
Parametrii care caracterizează un optocuplor se împart în două categorii:

- parametrii care se referă separat la emiţător şi receptor (**fig.8.37 c** – input, output);
- parametrii specifici optocuplorului – sunt parametrii care caracterizează ansamblu LED – receptor:
  - **tensiunea de izolare** – reprezintă tensiunea maximă dintre bornele de intrare şi cele de ieşire fără ca dielectricul să se străpungă (valori de ordinul kV);
  - **factorul de transfer în curent** – reprezintă raportul dintre valoarea curentului de ieşire şi cel de intrare. Se exprimă în procente. Pentru circuit de ieşire cu fototranzistor este cuprins între 2% şi 100%, iar pentru circuit de ieşire cu fotodarlington este cuprins între 50% şi 500% .

d. Conectarea în circuit a cuplorului optic.



a



b

Figura 8.38 Simulare montaj cu optocuplor

În **figura 8.38 a**, întrerupătorul **S1** este deschis. În această situaţie emiţătorul optocuplorului (LED-ul) nu este alimentat cu tensiune iar curentul prin emiţător şi prin receptor (fototranzistor) este aproape nul. Fototranzistorul este blocat iar **LED1** este stins. Se observă ca tensiunea pe emiţător **Uf** este foarte mică iar pe receptor **Uc** este mare, aproximativ egală cu tensiunea de alimentare.

În **figura 8.38 b**, întrerupătorul **S1** este închis, situaţie în care emiţătorul este alimentat cu tensiune şi emite radiaţii luminoase. Receptorul captează aceste radiaţii fapt care duce la intrarea în conducţie a fototranzistorului şi la luminarea dispozitivului **LED1.**

Se observă că **If = 13mA, Uf = 1,18V** şi **Ic = 11 mA, Uc = 1,22V.**

8.3.2 FIBRE OPTICE

Fibra optică – este o fibră din plastic sau sticlă care transportă lumină de-a lungul său. Fibra optică se comportă ca un ghid de undă care transportă lumina de-a lungul axei sale prin procesul de ***reflexie internă totală***.

În principiu, fibra optică constituie o cale de cuplare a unui dispozitiv ce emite lumină cu un dispozitiv fotodetector, printr-un cablu prin care lumina se poate propaga (**fig.8.39**).

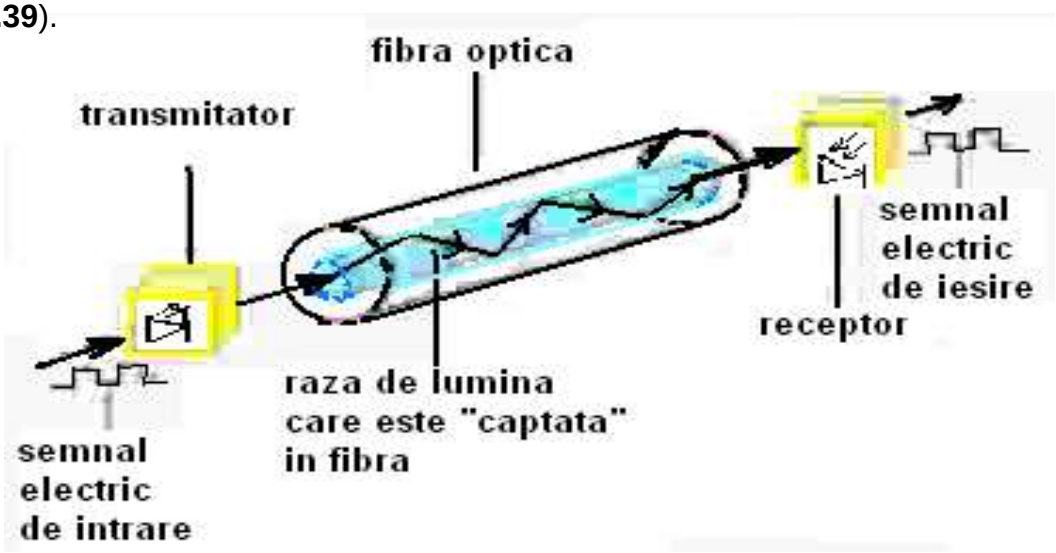


Figura 8.39 Sistem de transmisie prin fibră optică

Un **sistem de transmisie** prin fibră optică este compus din:

- transmiţător optic – produce şi codează semnalele luminoase;
- ghid optic – conduce semnalele luminoase;
- receptorul optic – primeşte şi decodează semnalele luminoase.

Transmiţătorul optic conţine o diodă (laser sau LED) şi o monofibră al cărui diametru este mai mic decât cel al fibrei optice. Semnalul de intrare este convertit în impulsuri optice pentru a putea fi transmise pe fibra optică. Impulsurile luminoase sunt prelucrate într-un sistem optic pentru a se obţine la ieşire un fascicul paralel de lumină monocromatică care va fi injectat în monofibră.

În cazul unor surse cu spectrul mai larg se poate intercala un filtru optic pentru a obţine radiaţii monocromatice cu anumite lungimi de undă.

Ghidul optic conţine următoarele elemente: cablul optic, repetoare-amplificatoare şi echipamentul de electroalimentare. Fasciculul de lumină de la ieşirea transmiţătorului optic, modulat în impulsuri, este trimis în fibra optică prin cupla optică. Aceasta realizează legătura cu sursa optică şi permite cuplarea şi decuplarea uşoară a fibrei la transmiţător.

Receptorul optic conţine o diodă detectoare şi o monofibră al cărui diametru este mai mare decât cel al fibrei optice. Fibra este ghidată de o cuplă optică, pentru a trimite lumina la receptorul electrooptic. Impulsurile luminoase sunt transformate în impulsuri de curent. Acestea sunt amplificate şi decodificate pentru a recompune semnalul transmis.

Fibra de sticlă este protejată la exterior cu un strat de sticlă cu indicele de refracţie mai mic decât cel al fibrei. O rază de lumină ce pătrunde prin extremitatea cablului se va refracta (**figura 8.40**). După refracţie lumina va fi reflectată în interiorul fibrei de mai multe ori pe toată lungimea fibrei şi va ieşii prin extremitatea opusă după o ultimă refracţie.

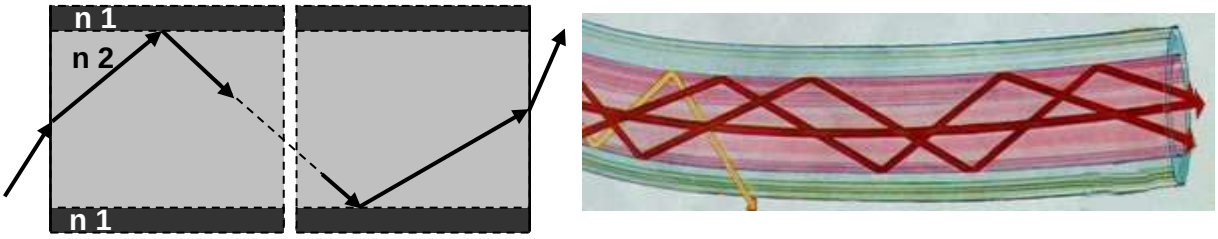


Figura 8.40 Rază de lumină într-o fibră optică

Fibra optică este compusă din trei elemente de bază (**figura 8.41**):

- miez (fibra de sticlă) (**1**);
- strat protector (izolaţia optică a fibrei) (**2**);
- înveliş protector (amortizor) (**3**).

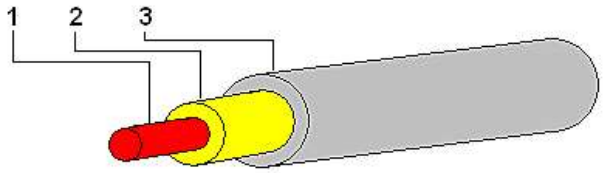


Figura 8.41 Structura fibrei optice

Miezul fibrei este construit din sticlă dopată (GeO_2 + SiO_2).

Stratul protector este construit din sticlă pură (SiO_2). Pentru a obţine reflexie internă totală indicele de refracţie a celor două materiale este diferit (stratul protector are indicele de refracţie mai mic decât miezul).

Învelişul protector este construit din plastic şi geluri speciale care protejează fibra.

Fibrele optice, în funcţie de construcţia miezului, se împart în două mari categorii:

- **fibră multimodală** – transmite mai multe fascicule de lumină cu viteze diferite şi aceeaşi lungime de undă. La aceste fibre scade semnificativ distanţa şi viteza de transmisie a semnalului (distanţa de transmisie, fără regenerare a semnalului, este până la 2 km);

- **fibră monomodală** – transmite un singur fascicul de lumină cu lungime de undă specifică. La acest tip de fibre distanţa şi viteza de transmisie sunt mari (distanţa de transmisie, fără regenerare a semnalului, zeci de Km).

Cablul cu fibră optică este format din una sau mai multe fibre optice, protejate de unul sau mai multe straturi de întărire, prevăzut la exterior cu o manta din polietilenă extrudată.

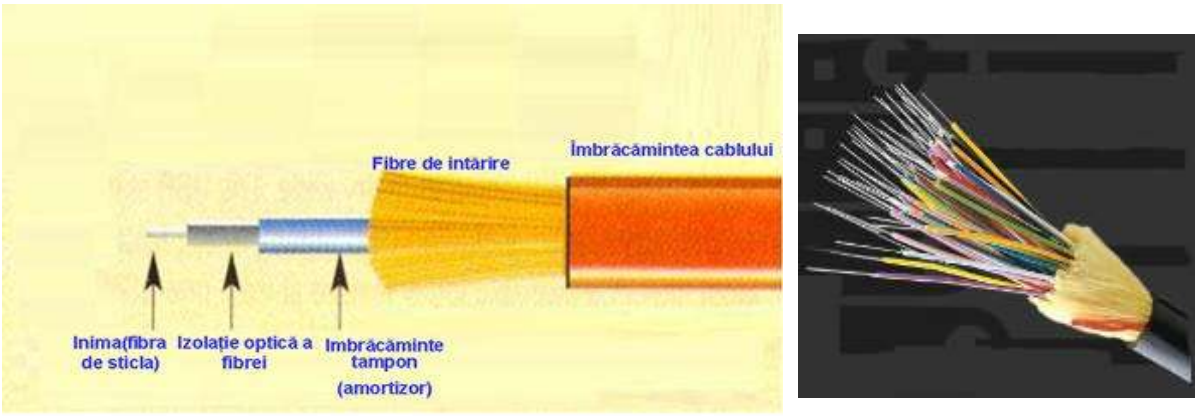


Figura 8.42 Structura cablului cu fibră optică

Elementele componente ale unui cablu optic în construcţie standard sunt:

- fibre optice de tip multimod sau monomod;
- element central de rezistenţă;
- straturi şi benzi de protecţie din materiale termoplastice;
- mantale interioare şi exterioare din materiale termoplastice.

Avantajele sistemelor de comunicaţie cu fibră optică:

- capacitate mare de transmisie;
- viteze mari de transfer;
- imunitate la interferenţele electromagnetice perturbatoare;
- izolaţie electrică totală;
- fiabilitate în funcţionare ridicată;
- bandă de frecvenţe mai ridicată;
- securitate perfectă a transmisiei;
- greutate redusă şi dimensiuni mici;
- rezistenţă la condiţii nefavorabile de vreme şi de mediu.

Domeniile de utilizare ale sistemelor de comunicaţie cu fibră optică:

telecomunicaţii, reţele de calculatoare, sisteme de iluminat, aparatură medicală (endoscoape, etc.).

Pentru a înțelege mai bine cum funcționează fibra optică urmăriți filmul de la adresa: http://www.youtube.com/watch?v=0MwMkBET_5I .