prof. RUSU CONSTANTIN

ELECTRONICĂ ANALOGICĂ
COMPONENTE ELECTRONICE

- AUXILIAR CURRICULAR -

BISTRIȚA – 2015

ISBN - 978-973-0-19868-3

CUPRINS

PREFAȚĂ 1
CAPITOLUL 1. MATERIALE SEMICONDUCTOARE 2
1.1 GENERALITĂȚI 2
1.2 CONDUCȚIA ÎN SEMICONDUCTOARE 3
1.3 SEMICONDUCTOARE DE TIP N ȘI DE TIP P 4
1.3.1 SEMICONDUCTOARE DE TIP P 4
1.3.2 SEMICONDUCTOARE DE TIP N 5
REZUMATUL CAPITOLULUI 6
EVALUAREA CUNOȘTINȚELOR 7
CAPITOLUL 2. JONCȚIUNEA PN 8
2.1 REALIZAREA JONCȚIUNII PN 8
2.2 POLARIZAREA DIRECTĂ A JONCȚIUNII PN 9
2.3 POLARIZAREA INVERSĂ A JONCȚIUNII PN 12
REZUMATUL CAPITOLULUI 16
EVALUAREA CUNOȘTINȚELOR 17
CAPITOLUL 3. DIODA SEMICONDUCTOARE 18
3.1 STRUCTURA ȘI SIMBOLUL DIODEI 18
3.2 TESTAREA DIODELOR 19
LUCRARE DE LABORATOR 20
3.3 POLARIZAREA DIODELOR 22
3.4 PARAMETRII CARACTERISTICI DIODELOR 23
SIMULARE CU AJUTORUL CALCULATORULUI 25
3.5 FUNCȚIONAREA DIODEI REDRESOARE ÎN CIRCUIT. 29
3.5.1 FUNCŢIONAREA DIODELOR ÎN CIRCUITE DE CURENT CONTINUU. 29
3.5.2 FUNCŢIONAREA DIODELOR ÎN CIRCUITE DE CURENT ALTERNATIV. 30
3.6 FUNCȚIONAREA DIODEI STABILIZATOARE ÎN CIRCUIT 31
3.7 DIODE DE UZ SPECIAL 33
3.7.1 DIODE STABILIZATOARE DE CURENT 33
3.7.2 DIODE CU CONTACT PUNCTIFORM 33
3.7.3 DIODE DE COMUTAŢIE 34
3.7.4 DIODE VARICAP (VARACTOR) 34
3.7.5 DIODE TUNEL (ESAKI) 35
3.7.6 DIODE GUNN 36

3.7.8 DIODE PIN 36
REZUMATUL CAPITOLULUI 37
EVALUAREA CUNOȘTINȚELOR 39
CAPITOLUL 4. APLICAȚII ALE DIODELOR SEMICONDUCTOARE 40
4.1 REDRESORUL MONO-ALTERNANŢĂ 40
4.2 REDRESORUL DUBLĂ-ALTERNANŢĂ CU PRIZĂ MEDIANĂ 41
4.3 REDRESORUL DUBLĂ-ALTERNANŢĂ ÎN PUNTE 42
4.3.1 PUNTEA REDRESOARE 42
SIMULARE CU AJUTORUL CALCULATORULUI 44
SIMULARE CU AJUTORUL CALCULATORULUI 48
REZUMATUL CAPITOLULUI 50
EVALUAREA CUNOȘTINȚELOR 51
CAPITOLUL 5. TRANZISTOARE BIPOLARE 52
5.1. TRANZISTOARE BIPOLARE - GENERALITĂŢI 52
5.1.1 STRUCTURA ŞI SIMBOLUL TRANZISTORULUI BIPOLAR 52
5.1.2 ÎNCAPSULAREA TRANZISTOARELOR. IDENTIFICAREA TERMINALELOR. 53
LUCRARE DE LABORATOR 56
5.1.3 FUNCŢIONAREA TRANZISTORULUI BIPOLAR 59
5.1.4 PARAMETRII ŞI CARACTERISTICILE TRANZISTORULUI BIPOLAR 61
5.1.5 FUNCŢIILE TRANZISTORULUI BIPOLAR. 65
SIMULARE CU AJUTORUL CALCULATORULUI 67
5.2 CONEXIUNILE TRANZISTOARELOR BIPOLARE 69
5.2.1 CONEXIUNEA EMITOR COMUN 69
5.2.2 CONEXIUNEA BAZĂ COMUNĂ 70
5.2.3 CONEXIUNEA COLECTOR COMUN 71
5.3. POLARIZAREA TRANZISTOARELOR BIPOLARE 72
5.3.1 PUNCTUL STATIC DE FUNCŢIONARE (PSF) 72
5.3.2 POLARIZAREA BAZEI DE LA Vcc 74
5.3.3 POLARIZAREA CU DIVIZOR REZISTIV 76
5.3.4 POLARIZAREA CU DOUĂ SURSE DE TENSIUNE 79
LUCRARE DE LABORATOR 81
5.4. DEPANAREA CIRCUITELOR CU TRANZISTOARE BIPOLARE 83
5.4.1 DEFECTE INTERNE ALE TRANZISTORULUI 83
5.4.2 DEFECTE ALE CIRCUITELOR DE POLARIZARE 86
5.5. REZOLVAREA CIRCUITELOR CU TRANZISTOARE BIPOLARE 90

5.6. FORMULE DE BAZĂ UTILIZATE ÎN CIRCUITELE CU TRANZISTOARE 102
REZUMATUL CAPITOLULUI. 104
EVALUAREA CUNOȘTINȚELOR..... 107
CAPITOLUL 6. TRANZISTOARE UNIPOLARE 110
6.1. TRANZISTOARE UNIPOLARE - GENERALITĂŢI 110
6.2. TRANZISTOARE CU GRILĂ JONCȚIUNE (TEC-J)..... 111
6.2.1 Structurile de bază și simbolurile dispozitivelor TEC-J 111
6.2.2 Încapsularea şi identificarea terminalelor dispozitivelor TEC-J..... 112
6.2.3. Principiul de funcţionare al tranzistoarelor TEC-J. 113
6.2.4. Caracteristicile tranzistoarelor cu efect de câmp cu grilă joncţiune. 113
6.2.5. Polarizarea tranzistoarelor TEC-J..... 115
6.3 TRANZISTOARE CU GRILĂ IZOLATĂ (TEC-MOS) 116
6.3.1. Structurile de bază şi simbolurile dispozitivelor TEC-MOS..... 116
6.3.2. Principiul de funcţionare al dispozitivelor TEC-MOS. 117
6.3.3 Polarizarea dispozitivelor TEC-MOS. 119
REZUMATUL CAPITOLULUI. 120
EVALUAREA CUNOȘTINȚELOR..... 122
CAPITOLUL 7. TRANZISTOARE UNIJONCȚIUNE..... 124
7.1 STRUCTURA ŞI FUNCŢIONAREA TUJ 124
7.1.1 Structura și simbolul tranzistorului unijoncțiune 124
7.1.2 Funcţionarea şi caracteristica statică de emitor a TUJ. 124
7.1.3 Caracteristicile electrice specifice tranzistoarelor unijoncţiune 125
7.2. STRUCTURA ȘI FUNCȚIONAREA UNUI TUJ PROGRAMABIL 126
7.2.1 Structura și simbolul unui TUJ programabil 126
7.2.2 Funcţionarea şi caracteristica statică de emitor a TUP. 127
7.3 Identificarea terminalelor tranzistoarelor unijoncţiune 127
CAPITOLUL 8. DISPOZITIVE OPTOELECTRONICE..... 128
8.1. DISPOZITIVE FOTODETECTOARE 128
8.1.1 FOTOREZISTORUL 128
8.1.2 FOTODIODA 130
8.1.3 FOTOTRANZISTORUL 134
LUCRARE DE LABORATOR 139
8.2. DISPOZITIVE FOTOEMIŢĂTOARE 141
8.2.1 DIODA LUMINISCENTĂ (LED) 141
8.2.2 CELULA DE AFIŞAJ 7 SEGMENTE CU LED-uri. 146

8.3. MODULATOARE OPTOELECTRONICE 149
8.3.1 CUPLOARE OPTICE 149
8.3.2 FIBRE OPTICE 153
LUCRARE DE LABORATOR 156
LUCRARE DE LABORATOR 158
REZUMATUL CAPITOLULUI 160
EVALUAREA CUNOȘTINȚELOR 162
CAPITOLUL 9. DISPOZITIVE MULTIJONCȚIUNE 164
9.1. DIODA SHOCKLEY 164
9.1.1 STRUCTURĂ ŞI SIMBOL 164
9.1.2 FUNCŢIONAREA DIODEI SHOCKLEY. 164
9.2. TIRISTORUL 167
9.2.1 STRUCTURĂ ŞI SIMBOL 167
9.2.2 PARAMETRII ELECTRICI AI TIRISTORULUI 167
9.2.3 FUNCŢIONAREA TIRISTORULUI 168
9.2.4 IDENTIFICAREA TERMINALELOR TIRISTORULUI 170
SIMULARE CU AJUTORUL CALCULATORULUI 171
LUCRARE DE LABORATOR 172
9.3. DIACUL ŞI TRIACUL 173
9.3.1 DIACUL 173
9.3.2 TRIACUL 174
LUCRARE DE LABORATOR 175
REZUMATUL CAPITOLULUI 177
EVALUAREA CUNOȘTINȚELOR 178
BIBLIOGRAFIE 179

PREFAȚĂ

Electronica este o disciplină tehnico-științifică în care teoria se îmbină în mod armonios și indispensabil cu practica. Electronica este o ramură de vârf a industriei atât în zilele noastre cât și în toate epocile viitoare.

Încă de la începuturile sale electronica a atras în special tinerii dornici de a realiza și experimenta diverse construcții.

Printr-o muncă bine dirijată în care se îmbină armonios însușirea elementelor teoretice cu realizarea construcțiilor practice, tânărul licean de azi va fi specialistul de mâine.

Auxiliarul curricular ***Electronică Analogică – Componente electronice*** se adresează elevilor care urmează cursurile unui liceu tehnologic sau ale unei școli de arte și meserii, domeniul electronică și automatizări precum și specializările care derivă din acest domeniu.

Auxiliarul curricular este structurat în nouă capitole. În fiecare capitol sunt tratate noțiunile teoretice de bază corespunzătoare temei respective, lucrări de laborator și simulări cu ajutorul calculatorului. Fiecare capitol se încheie cu un rezumat și un test de verificare a cunoștințelor.

Acest auxiliar curricular tratează numai componentele electronice elementare. Aplicațiile componentelor electronice, circuitele integrate, circuitele electronice sunt tratate în auxiliarul curricular ***Electronică Analogică – Circuite electronice***.

Autorul urează mult succes celor care utilizează acest auxiliar curricular și le dorește să îmbine cât mai plăcut și armonios cunoștințele teoretice cu abilitățile tehnice pentru a-și dezvolta cât mai mult puterea de creație tehnică.

ÎN ELECTRONICĂ VIITORUL RĂMÂNE DESCHIS TUTUROR POSIBILITĂȚILOR.

Prof. RUSU CONSTANTIN
Colegiul Tehnic INFOEL - BISTRIȚA

CAPITOLUL 1. MATERIALE SEMICONDUCTOARE

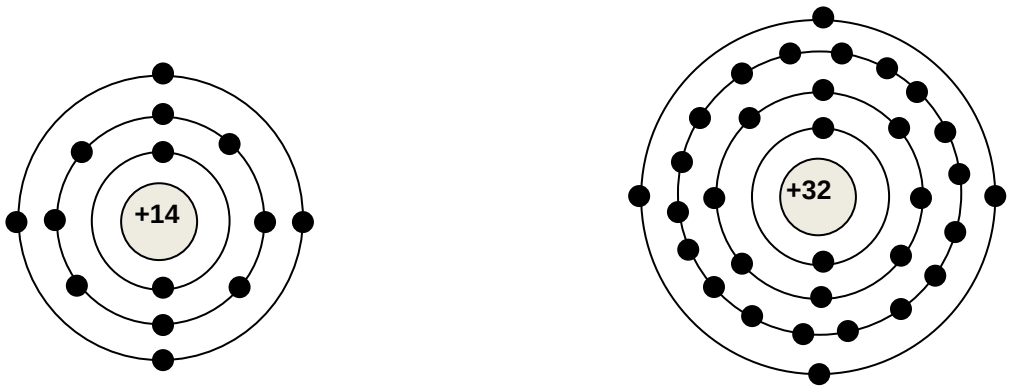
1.1 GENERALITĂŢI

În funcţie de rezistivitatea electrică, materialele electrotehnice pot fi încadrate în trei categorii:

- ***Materiale izolatoare*** - rezistivitatea electrică ρ = $10^{12} – 10^{23}$ $\left[\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}\right]$;
- ***Materiale semiconductoare*** - rezistivitatea electrică ρ = $10 – 10^{12}$ $\left[\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}\right]$;
- ***Materiale conductoare*** - rezistivitatea electrică ρ = $10^{-2} – 10$ $\left[\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}\right]$.

Materialele semiconductoare din punct de vedere al conducerii curentului electric au proprietăţi intermediare între conductoare şi izolatoare. Cele mai răspândite materiale semiconductoare sunt ***germaniul, siliciul, carbonul.***

Materialele semiconductoare sunt alcătuite din atomi care prezintă patru electroni de valenţă caracteristici (**figura 1.1**)



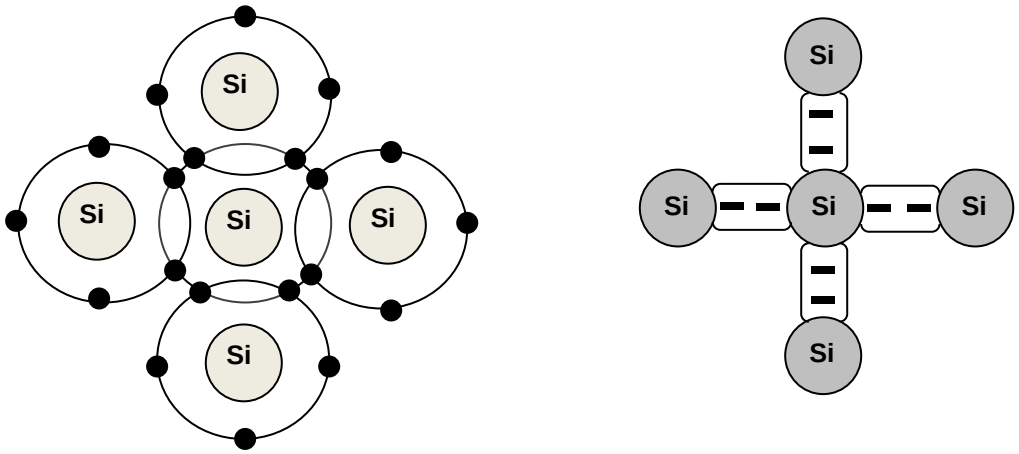
a. Atom de siliciu b. Atom de germaniu

Figura 1.1 Diagramele atomilor de siliciu şi germaniu

Electronii de valenţă ai atomului de siliciu (**fig. 1.1 a**) se află pe stratul trei iar cei ai germaniului (**fig.1.1 b**) se află pe stratul patru. Deoarece electronii de valenţă ai germaniului se află mai departe de nucleu, posedă energii mai mari decât cei ai siliciului care se află mai aproape de nucleu, deci le este necesar un surplus energetic mai mic pentru a se desprinde din atom. Această caracteristică face ca germaniul să devină instabil la temperaturi mari, de aceea siliciul este materialul semiconductor cel mai des utilizat la construcţia dispozitivelor electronice active.

1.2 CONDUCŢIA ÎN SEMICONDUCTOARE

Pentru a forma o structură solidă, atomii unui semiconductor se combină prin legături covalente dintre electronii de valenţă, formând o ***structură cristalină***. Prin legăturile covalente fiecare din cei patru electroni de valenţă a unui atom de siliciu se pun în comun cu câte un electron de valenţă a unui atom de siliciu învecinat (**figura 1.2**). Cristalul astfel format se numeşte ***intrinsec*** deoarece nu conţine impurităţi.



a. Porţiune dintr-un cristal pur de SI b. Diagramă de legături

Figura 1.2 Legăturile covalente la siliciu

În jurul nucleului unui atom de material semiconductor se află trei benzi de energie:

- ***banda de valenţă*** – în care se află electronii de valenţă din semiconductor;
- ***banda interzisă*** – reprezintă diferenţa energetică dintre banda de valenţă şi banda de conducţie;
- ***banda de conducţie*** – în care se află electronii liberi din semiconductor.

Un cristal de siliciu pur (intrinsec) la o anumită temperatură, permite unor electroni de valenţă din banda de valenţă să acumuleze suficientă energie pentru a străpunge banda interzisă şi a trece în banda de conducţie. Aceşti electroni se numesc ***electroni liberi***. Când un electron trece din banda de valenţă în banda de conducţie, locul său din banda de valenţă rămâne liber. Acest loc liber se numeşte ***gol***. În acest mod se creează perechile ***electron-gol***.

Dacă la capetele unui cristal de siliciu intrinsec se aplică o tensiune în interiorul cristalului circulă două categorii de curenţi:

- **curentul de electroni** – care reprezintă deplasarea ordonată a electronilor liberi din banda de conducţie spre polul pozitiv al sursei de alimentare;
- **curentul de goluri** – care reprezintă deplasarea ordonată a golurilor din banda de valenţă prin structura cristalină în sens opus curentului de electroni.

1.3 SEMICONDUCTOARE DE TIP N ŞI DE TIP P

Datorită numărului limitat de electroni liberi din banda de conducţie şi de goluri din banda de valenţă, materialele semiconductoare în stare intrinsecă nu conduc curentul electric. Pentru a putea fi utilizate în diverse aplicaţii acestea trebuie prelucrate în scopul măririi conductivităţii electrice, prin introducerea controlată a unor impurităţi în materialul intrinsec care duce la creşterea numărului de purtători de curent. Acest procedeu se numeşte **dopare.**

Într-un cristal semiconductor **electronii liberi** reprezintă **sarcinile negative (N)** iar **golurile** reprezintă **sarcinile pozitive (P)**.

1.3.1 SEMICONDUCTOARE DE TIP P

Aceste semiconductoare au un ***număr mare de goluri***. Deoarece majoritatea purtătorilor de curent este constituită din goluri (sarcini pozitive) acestea poartă denumirea de semiconductoare de tip **P**.

Pentru a obţine un semiconductor de tip **P** (**fig.1.3**), un cristal de siliciu pur se dopează cu *atomi de impurificare* ***trivalenţi*** (cu trei electroni de valenţă) – aluminiu (Al), bor (B), galiu (Ga), indiu (In).

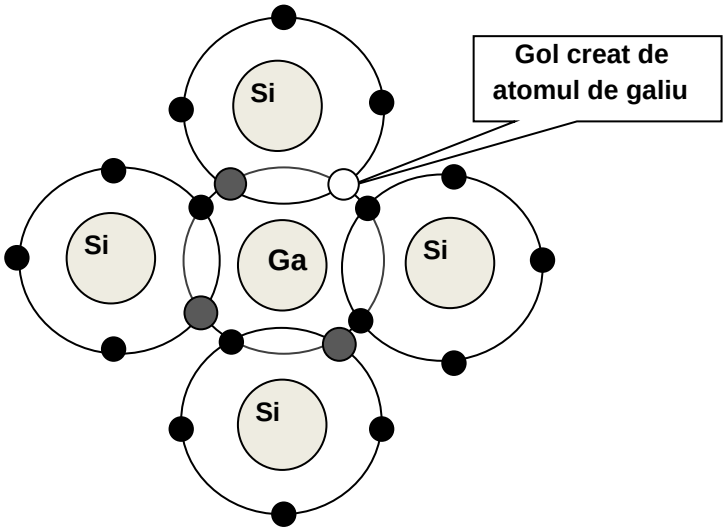


Figura 1.3 Semiconductor de siliciu de tip P impurificat cu galiu

Atomul de galiu are trei electroni de valenţă. Toţi cei trei electroni de valenţă participă la legăturile covalente cu electronii de valenţă ai atomilor de siliciu. Deoarece un atom de siliciu are patru electroni de valenţă la fiecare atom de galiu din cristalul de siliciu apare câte un **gol**.

La semiconductorul de tip **P**, **golurile** sunt ***purtători majoritari*** iar **electronii** sunt ***purtători minoritari***.

1.3.2 SEMICONDUCTOARE DE TIP N

Aceste semiconductoare au un ***număr mare de electroni***. Deoarece majoritatea purtătorilor de curent este constituită din electroni (sarcini negative) acestea poartă denumirea de semiconductoare de tip **N**.

Pentru a obţine un semiconductor de tip **N** (**fig.1.4**), un cristal de siliciu pur se dopează cu *atomi de impurificare* ***pentavalenţi*** (cu cinci electroni de valenţă) – arseniu (As), fosfor (P), bismut (Bi), stibiu (Sb).

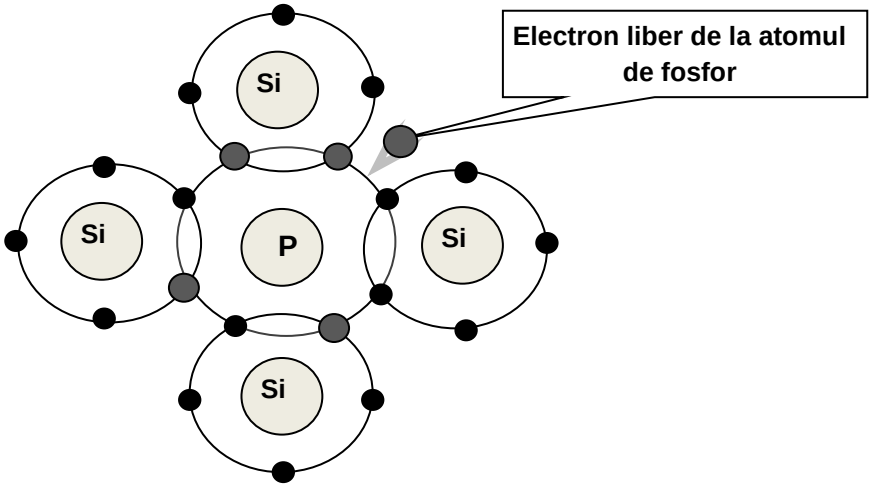


Figura 1.4 Semiconductor de siliciu de tip N impurificat cu fosfor

Atomul de fosfor are cinci electroni de valenţă. Patru dintre cei cinci electroni de valenţă participă la legăturile covalente cu electronii de valenţă ai atomilor de siliciu, iar al cincilea rămâne liber (deoarece un atom de siliciu are patru electroni de valenţă).

La fiecare atom de fosfor din cristalul de siliciu apare câte un **electron liber**.

La semiconductorul de tip **N**, **electronii** sunt ***purtători majoritari*** iar **golurile** sunt ***purtători minoritari***.

REZUMATUL CAPITOLULUI

- Din punct de vedere al conductibilității materialele semiconductoare se situează între materialele conductoare care au un număr mare de electroni (conduc foarte bine curentul electric) și materialele izolatoare care au un număr foarte mic de electroni liberi (nu conduc curentul electric).
- Atomii semiconductoarelor au patru electroni de valență.
- Cele mai răspândite materiale semiconductoare sunt: Germaniul, Siliciul și Carbonul dintre care ***Siliciul*** este cel mai larg utilizat.
- În jurul nucleului unui atom de material semiconductor se formează trei benzi de energie: banda de valență, banda interzisă, banda de conducție.
- ***Electronii liberi*** sunt electronii care la o anumită temperatură a cristalului semiconductor pur trec din banda de valență în banda de conducție.
- ***Golurile*** sunt locurile libere din banda de valență lăsate de electronii liberi.
- Dacă la capetele unui cristal semiconductor se aplică o tensiune, în interiorul cristalului apare un ***curent de electroni*** care reprezintă deplasarea ordonată a electronilor liberi spre polul pozitiv al sursei și un ***curent de goluri*** care reprezintă deplasarea ordonată a golurilor spre polul negativ al sursei.
- Procedeul prin care unui cristal semiconductor i se adaugă impurități se numește ***dopare***.
- Materialele semiconductoare de tip ***p*** se formează prin doparea cu atomi de impurificare trivalenți (Aluminiu, Bor, Gali, Indiu).
- Într-un semiconductor de tip ***p*** purtătorii majoritari sunt golurile iar purtătorii minoritari sun electronii liberi.
- Materialele semiconductoare de tip ***n*** se formează prin doparea cu atomi de impurificare pentavalenți (Arseniu, Fosfor, Bismut, Stibiu).
- Într-un semiconductor de tip ***n*** purtătorii majoritari sunt electronii liberi iar purtătorii minoritari sun golurile.
- Electronii sunt sarcini electrice negative iar golurile sunt sarcini electrice pozitive.

EVALUAREA CUNOȘTINȚELOR

I. Încercuiește varianta de răspuns corectă.

1. Materialele semiconductoare au:

a. 3 electroni de valență;

b. 4 electroni de valență;

c. 5 electroni de valență.

2. Cel mai utilizat material semiconductor este:

a. siliciul;

b. germaniul;

c. carbonul.

3. Pentru a obține un semiconductor de tip **p** un cristal de siliciu pur se dopează cu:

a. trei electroni de valență;

b. patru electroni de valență;

c. cinci electroni de valență.

4. Pentru a obține un semiconductor de tip **n** un cristal de siliciu pur se dopează cu:

a. trei electroni de valență;

b. patru electroni de valență;

c. cinci electroni de valență.

II. Completați spațiile libere cu informația corectă.

1. Într-un cristal semiconductor electronii liberi reprezintă sarcinile …… iar golurile reprezintă sarcinile ……..

2. Într-un semiconductor de tip **p** electronii liberi sunt purtătorii…… iar golurile sunt purtătorii ……..

3. Într-un semiconductor de tip **n** golurile sunt purtătorii…… iar electronii liberi sunt purtătorii ……..

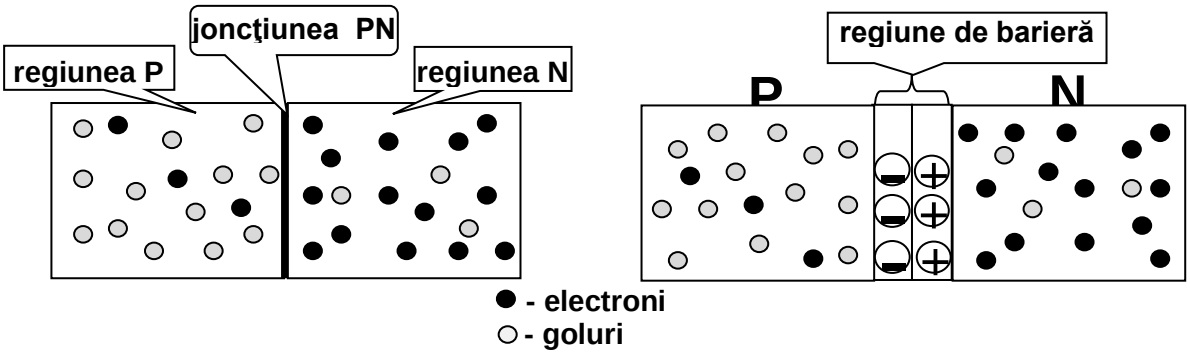
4. Procedeul prin care unui semiconductor i se adaugă impurități se numește ……

CAPITOLUL 2. JONCȚIUNEA PN.

2.1 REALIZAREA JONCȚIUNII PN

Dacă dopăm o jumătate dintr-un cristal de siliciu cu impurități trivalente, iar cealaltă jumătate cu impurități pentavalente se obțin două regiuni vecine cu tip diferit de impurificare, o regiune de tip ***p*** și o regiune de tip ***n***.

Joncţiunea PN reprezintă zona de contact dintre două regiuni vecine, una de tip ***P*** şi una de tip ***N***, create într-un monocristal pur (**fig.2.1 a**).



a. Structură PN iniţială b. Formarea regiunii de barieră

Figura 2.1 Structura semiconductorului în care s-a creat o joncţiune PN

La formarea joncțiunii PN electronii din regiunea N tind să ocupe golurile din regiunea P și difuzează prin joncțiune. Deoarece prin plecarea electronilor rămâne un surplus de sarcini electrice pozitive în vecinătatea joncțiunii spre regiunea N se creează un spațiu încărcat cu sarcini pozitive (ioni pentavalenți) (**fig.2.1 b**). În același timp golurile din regiunea P se combină cu electronii care au străpuns joncțiunea. Prin sosirea electronilor apare un surplus de sarcini electrice negative iar în vecinătatea joncțiunii spre regiunea P se creează un spațiu încărcat cu sarcini negative (ioni trivalenți) (**fig.2.1 b**).

Cele două zone cu sarcini pozitive și negative formează ***regiunea de barieră***.

Aceste procese se desfășoară până când sarcina negativă totală din regiunea de barieră împiedică alți electroni să mai difuzeze prin această regiune (apare fenomenul respingere a sarcinilor electrice de același potențial).

În regiunea de barieră între sarcinile pozitive și negative apare un câmp de forțe numit ***câmp electric intern.*** Diferența de potențial al câmpului electric intern se numește ***potențial de barieră*** (**Vp** - tensiune de prag) și se exprimă în ***volți***.

Câmpul electric intern din regiunea de barieră se comportă ca o barieră în calea electronilor care tind să traverseze regiunea.

Valoarea tensiunii de prag depinde de materialul din care este construit cristalul de semiconductor:

- în cazul siliciului tensiunea de prag este de aproximativ 0,6 – 1,2 V;
- în cazul germaniului tensiunea de prag este de aproximativ 0,2 – 0,6 V.

Pentru ca electronii să poată străbate regiunea de barieră, trebuie să li se furnizeze energie din exterior, care se face prin polarizarea joncţiunii PN.

2.2 POLARIZAREA DIRECTĂ A JONCȚIUNII PN

Prin ***polarizare*** se înţelege aplicarea unei tensiunii continue la capetele celor două regiuni. La ***polarizarea directă*** borna **plus (+)** a sursei de alimentare se conectează la regiunea **P** a joncţiunii PN iar borna **minus (-)** a sursei se conectează la regiunea **N** a joncţiunii PN. Joncțiunea se conectează în serie cu un rezistor R care limitează valoarea curentului prin circuit pentru a nu deteriora joncțiunea.

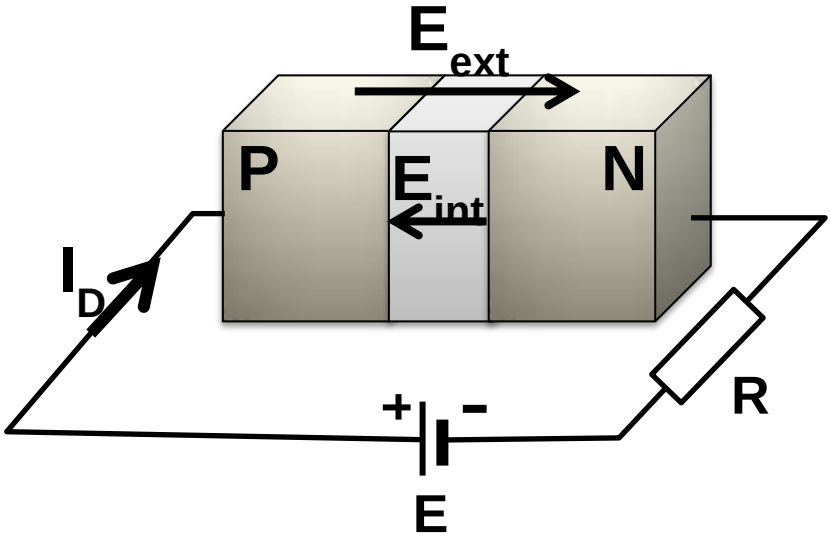


Figura 2.2 Polarizarea directă a joncţiunii PN

Atât timp cât valoarea tensiunii sursei de alimentare **E** este mai mică decât tensiunea câmpului electric intern $\mathbf{E_{int}}$ prin joncțiune nu circulă curent (joncțiunea este blocată). Când tensiunea de polarizare depășește valoarea tensiunii de prag a joncțiunii se creează un câmp electric extern $\mathbf{E_{ext}}$ care străbate joncțiunea de la **P** la **N** și care este contrar câmpului electric intern al joncțiunii. Astfel joncțiunea PN este parcursă de un curent direct $\mathbf{I_D}$ dinspre regiunea **P** spre regiunea **N**, curent care crește exponențial cu tensiunea aplicată joncțiunii. În **figura 2.4** sunt prezentate câteva situații practice de polarizare a joncțiunii PN unde se observă cum crește valoarea curentului prin joncțiune la creșterea valorii tensiunii de alimentare a joncțiunii.

La polarizarea directă a joncțiunii PN fenomenele se desfășoară astfel (**fig.2.3**):

- ***Minusul sursei*** de alimentare fiind conectat la regiunea negativă **N** ***respinge electronii*** (care sunt sarcini negative și purtători majoritari in regiunea N) din regiunea **N** spre regiunea **P** (se formează ***curentul de electroni***). Tot borna negativă a sursei de alimentare injectează un flux continuu de electroni către regiunea negativă **N** prin circuitul exterior;
- Sursa de alimentare oferă electronilor din regiunea **N** suficientă energie ca aceștia să străbată regiunea de barieră și să ajungă în regiunea **P**. Când electronii liberi ajung în această regiune nu mai au suficientă energie să se combine cu golurile din regiunea **P** și sunt atrași de borna pozitivă a sursei de alimentare. Pe măsură ce electronii părăsesc regiunea **P** și se îndreptă spre borna pozitivă a sursei de alimentare prin circuitul exterior, în regiunea **P** numărul de goluri crește;
- Golurile din regiunea **P** străbat joncțiunea PN și ajung în regiunea **N** (se formează ***curentul de goluri***). Deoarece numărul de goluri care străbat joncțiunea este mai mare decât numărul de electroni curentul de goluri formează curentul direct $\mathbf{I_D}$ care străbate joncțiunea PN de la P spre N;
- În concluzie, ***joncțiunea PN la polarizare directă este străbătută de un curent direct de la regiunea P spre regiunea N***;
- Deoarece numărul de electroni și goluri care pătrund în zona de barieră cresc, scad numărul de ioni pozitivi și negativi din zona de barieră (electronii se combină cu golurile). Această scădere duce la îngustarea regiunii de barieră și produce la capetele joncțiunii PN o cădere de tensiune egală cu potențialul de barieră (tensiunea de prag).

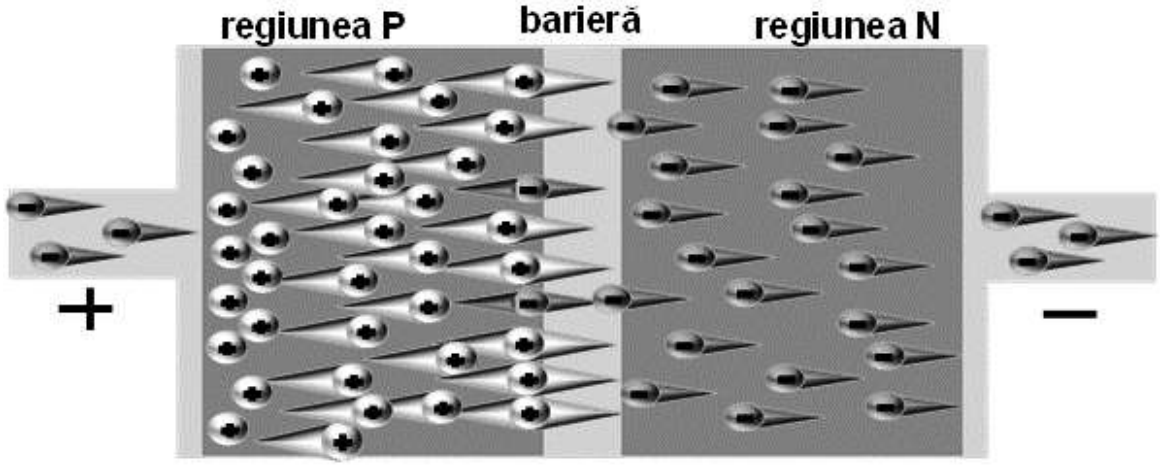


Figura 2.3 Deplasarea fluxurilor de purtători la polarizarea directă a joncțiunii PN

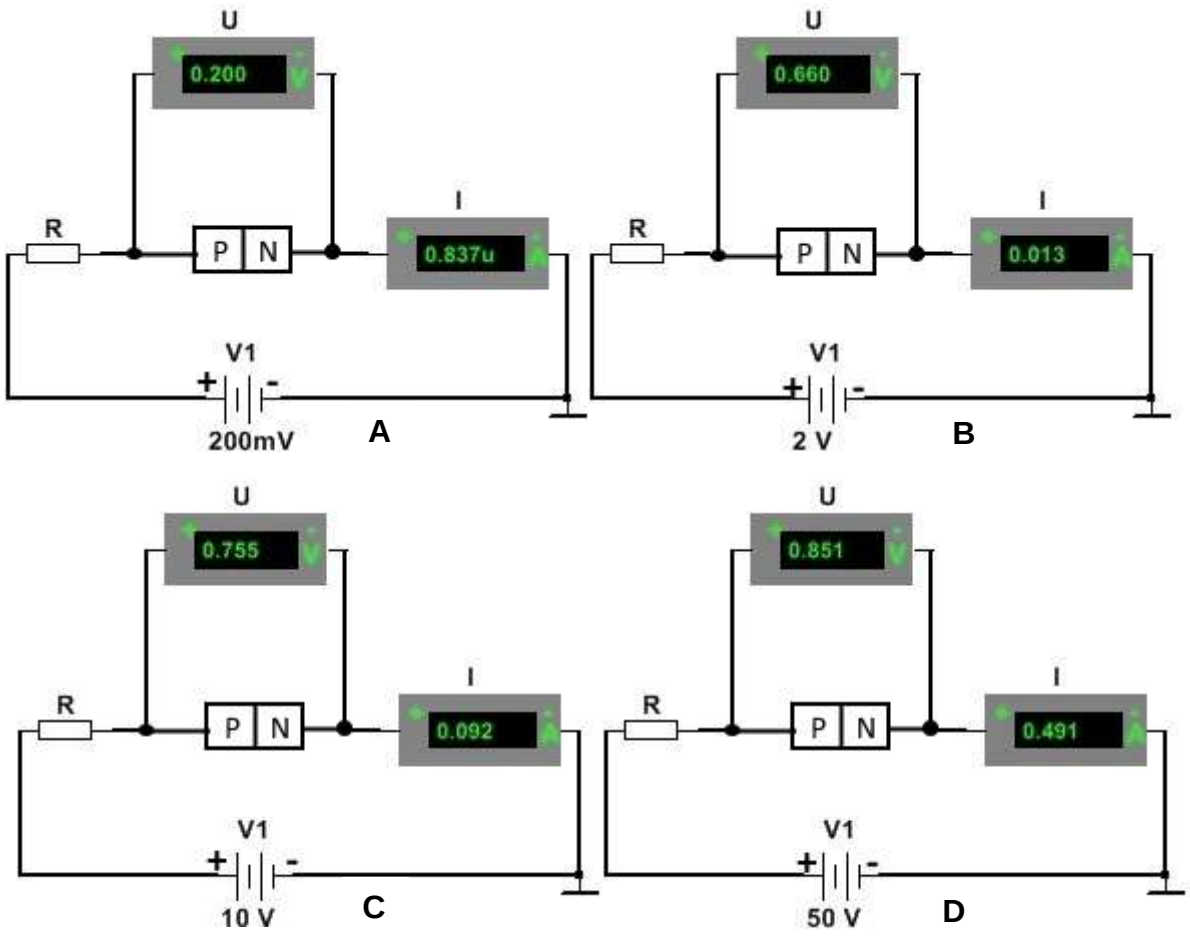


Figura 2.4 Măsurarea tensiunii și a curentului la polarizarea directă a joncțiunii PN

Prin reprezentarea grafică a valorilor obținute în montajele din figura 2.4 se obține ***caracteristica statică*** a joncțiunii PN pentru polarizarea directă (**fig. 2.5)**.

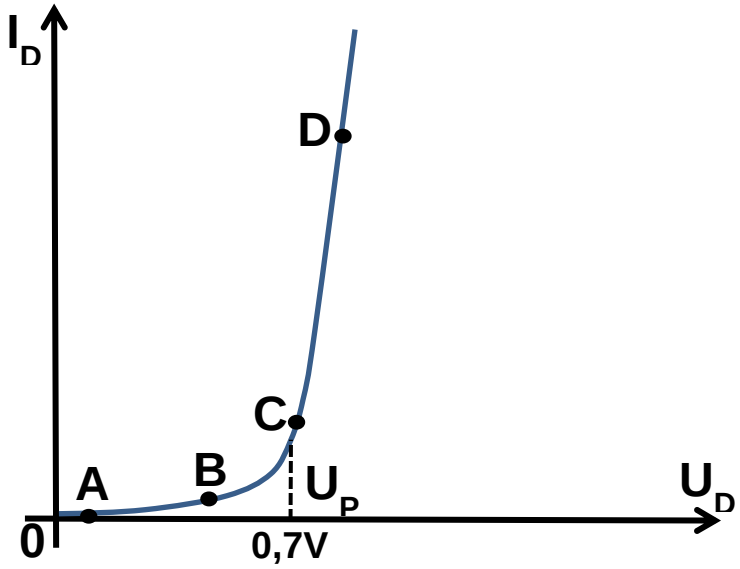


Figura 2.5 Caracteristica statică a joncțiunii PN pentru polarizarea directă

2.3 POLARIZAREA INVERSĂ A JONCȚIUNII PN

La ***polarizarea inversă*** borna **plus (+)** a sursei de alimentare se conectează la regiunea **N** a joncţiunii PN iar borna **minus (-)** a sursei se conectează la regiunea **P** a joncţiunii PN. Joncțiunea se conectează în serie cu un rezistor R care limitează valoarea curentului prin circuit pentru a nu deteriora joncțiunea.

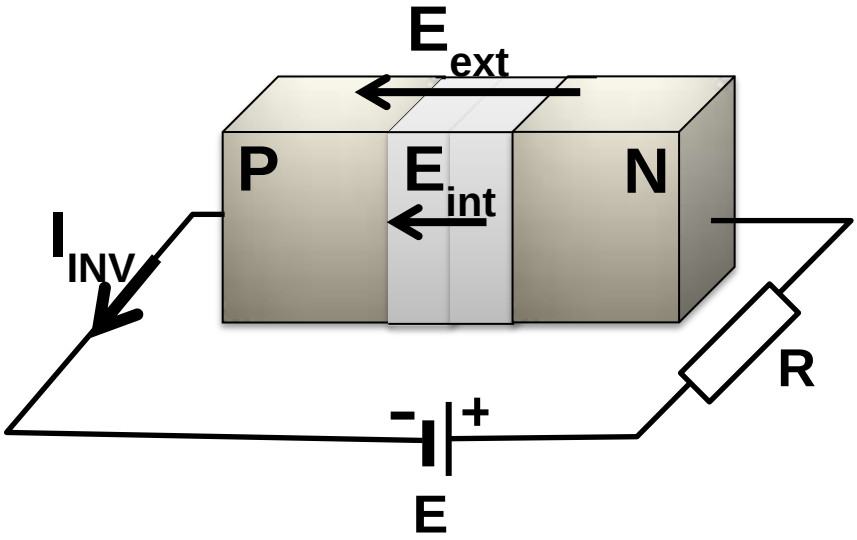


Figura 2.6 Polarizarea inversă a joncţiunii PN

La polarizarea directă a joncțiunii PN borna pozitivă a sursei de alimentare atrage electronii din regiunea N spre capătul din dreapta a regiunii iar în regiunea de barieră spre regiunea N apar ioni pozitivi suplimentari. În același timp borna negativă a sursei de alimentare generează electroni liberi care se deplasează prin regiunea P spre regiunea de blocare unde creează un surplus de ioni negativi.

În acest mod crește lățimea zonei de blocare iar purtătorii majoritari scad semnificativ până când potențialul regiunii de blocare ajunge la valoarea tensiunii sursei de alimentare **E**. Din acest moment curentul prin joncțiune dispare aproape complet, cu excepția unui curent invers foarte mic.

În concluzie, polarizarea inversă a joncțiunii PN determină apariția unui câmp electric extern $\mathbf{E_{ext}}$ mai mare și de același sens cu câmpul electric intern $\mathbf{E_{int}}$, care se îndreaptă de la zona **N** spre zona **P**, care împiedică deplasarea purtătorilor de sarcină majoritari dar favorizează deplasarea purtătorilor de sarcină minoritari. Acești purtători de sarcină prin deplasarea lor formează ***curentul invers*** care este foarte mic și este independent de valoarea tensiunii de alimentare. Valoarea curentului invers depinde numai de temperatura joncțiunii.

În **figura 2.7** sunt prezentate câteva situații practice de polarizare inversă a joncțiunii PN iar în **figura 2.8** este prezentată caracteristica statică a joncțiunii PN pentru polarizarea inversă.

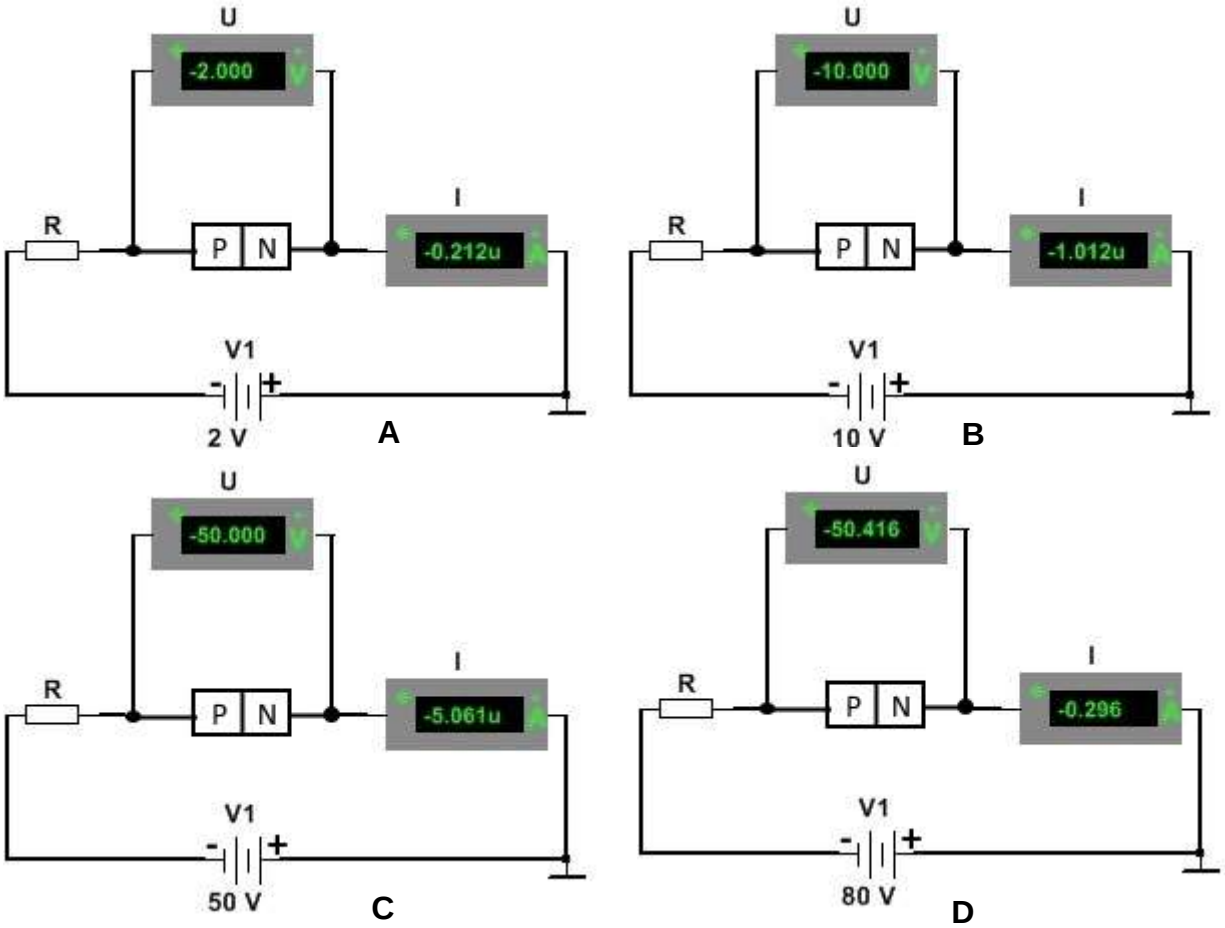


Figura 2.7 Măsurarea tensiunii și a curentului la polarizarea inversa a joncțiunii PN

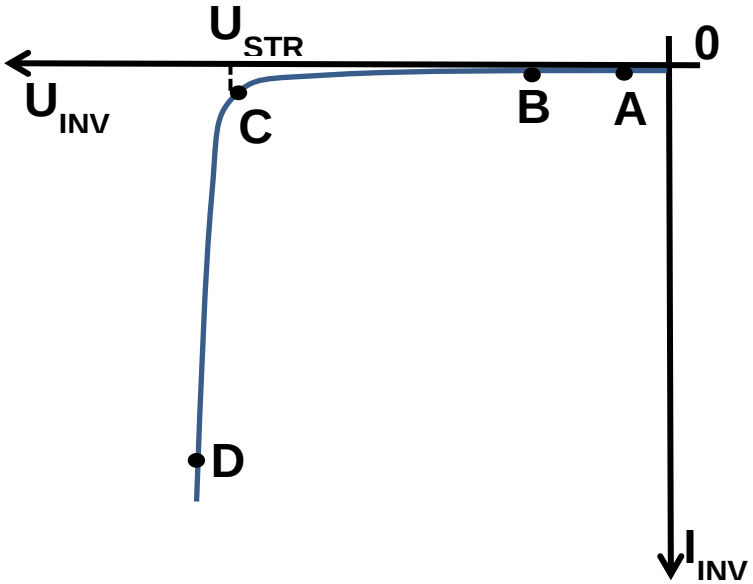


Figura 2.8 Caracteristica statică a joncțiunii PN pentru polarizarea inversă

U_{STR} – reprezintă tensiunea inversă de străpungere a joncțiunii PN (în acest caz 50V)

În **figura 2.9** este reprezentat graficul caracteristicii statice complete a joncțiunii PN.

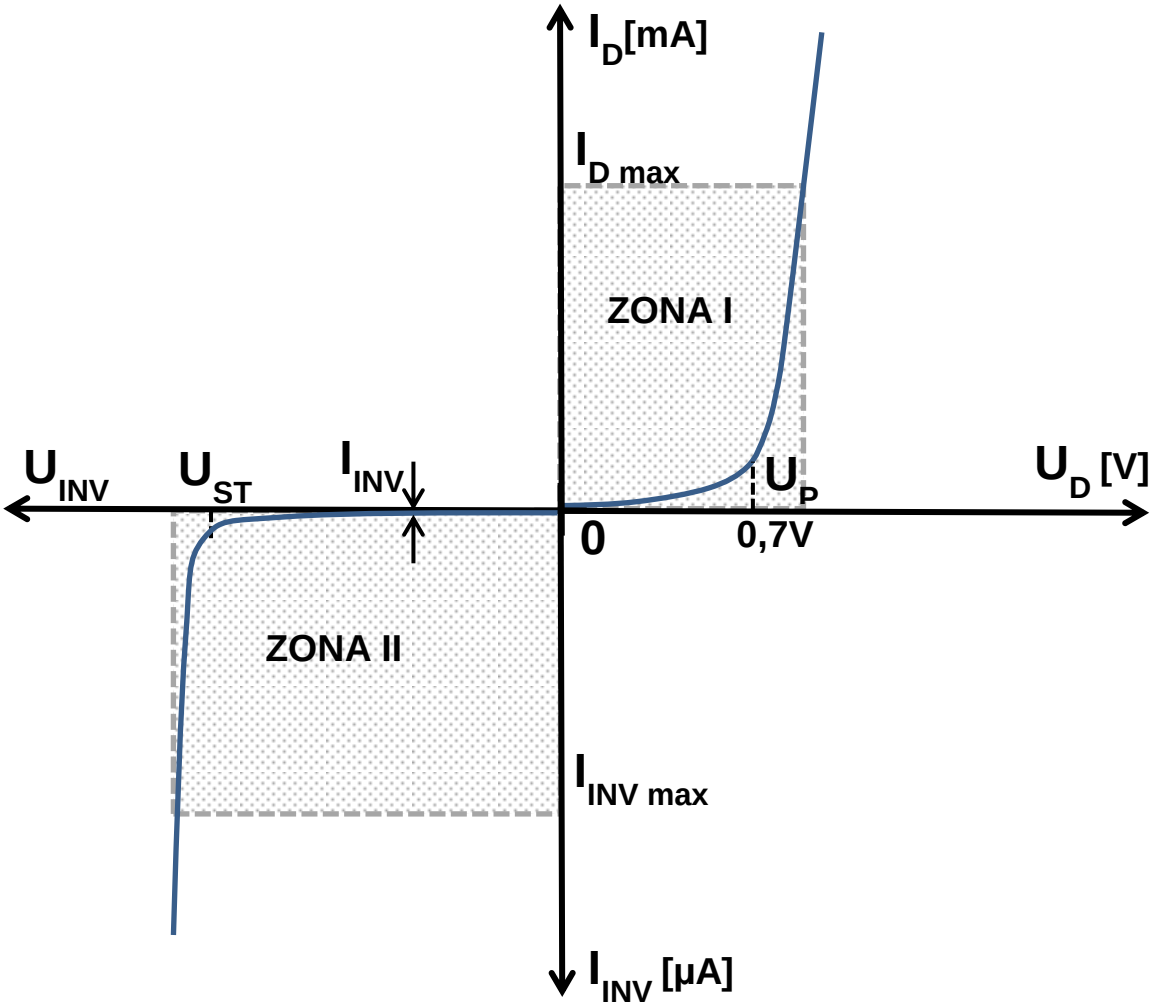


Figura 2.9 Caracteristica statică a joncțiunii PN

Caracteristica statică a joncțiunii PN este reprezentarea grafică a relației tensiune – curent ce caracterizează această joncțiune. În **figura 2.9** este reprezentat graficul complet al caracteristicii statice în ambele situații de polarizare.

ZONA I – corespunde polarizării directe când joncțiunea PN permite trecerea curentului electric prin ea. Joncțiunea se deschide și permite trecerea curentului electric când tensiunea pe joncțiune depășește tensiunea de prag (**Up**).

În această zonă de funcționare joncțiunea are următoarele caracteristici:

- Tensiunea la bornele joncțiunii este aproximativ constantă în jurul valorii tensiunii de prag și nu crește odată cu tensiunea de alimentare;
- Curentul prin joncțiune are valoare mare și este dependent de valoarea rezistorului conectat în serie cu joncțiunea;
- Rezistența electrică a joncțiunii este foarte mică.

ZONA II – corespunde polarizării inverse când joncțiunea PN nu permite trecerea curentului electric prin ea. Joncțiunea este blocată iar curentul care circulă prin joncțiune este foarte mic și depinde doar de temperatura joncțiunii și natura semiconductorului. Acest curent numit și ***curent invers*** este de ordinul nanoamperilor (10^{-9} A) pentru Si și de ordinul microamperilor (10^{-6} A) pentru Ge. În această zonă de funcționare joncțiunea are următoarele caracteristici:

- Tensiunea la bornele joncțiunii este aproximativ egală cu valoarea tensiunii de alimentare crește odată cu aceasta;
- Curentul prin joncțiune are valoare foarte mică și nu depinde de valoarea tensiunii de alimentare atât timp cât acesta nu depășește valoare tensiunii de străpungere a semiconductorului;
- Rezistența electrică a joncțiunii este foarte mare.

La extremitățile celor două zone se găsesc zonele care limitează funcționarea joncțiunii PN în parametrii normali, astfel:

- La extremitatea zonei I când joncțiunea este polarizată direct dacă se depășește ***valoare curentului direct maxim ($I_{D\ max}$)*** joncțiunea se supraîncălzește și se distruge. Pentru a preveni această situație se calculează corect rezistența și puterea electrică a rezistorului care se conectează în serie cu joncțiunea. Această valoare se calculează în funcție de valoarea tensiunii de alimentare și a curentului maxim admis prin joncțiune;
- La extremitatea zonei II când joncțiunea este polarizată invers dacă se depășește ***valoare tensiunii de străpungere (U_{ST})*** curentul prin joncțiune crește foarte mult fapt care duce la supraîncălzirea și distrugerea joncțiunii. Pentru a preveni această situație se urmărește ca valoarea tensiunii de alimentare să nu depășească valoarea tensiunii de străpungere pentru care a fost proiectată joncțiunea, în situația în care joncțiunea este polarizată invers.

REZUMATUL CAPITOLULUI

- Joncţiunea PN este o structură fizică obținută prin doparea unui monocristal semiconductor pur cu impurități trivalente și pentavalente.
- Joncţiunea PN reprezintă zona de contact dintre două regiuni vecine, una de tip ***P*** şi una de tip ***N***.
- Joncțiunea PN are trei regiuni: două regiuni neutre de tip ***p*** și de tip **n** între care se află o regiune de trecere numită și regiune de blocare sau regiune golită.
- Prin ***polarizarea joncțiunii*** se înțelege alimentarea cu tensiune a joncțiunii prin conectarea celor două regiuni neutre **P** și **N** la bornele unei surse de tensiune continuă.
- La ***polarizarea directă*** regiunea **P** se conectează la borna **pozitivă** a sursei iar regiunea **N** se conectează la borna **negativă** a sursei de alimentare.
- La ***polarizarea inversă*** regiunea **P** se conectează la borna **negativă** a sursei iar regiunea **N** se conectează la borna **pozitivă** a sursei de alimentare.
- ***Tensiunea de prag (potențialul de barieră)*** reprezintă tensiunea minimă la care joncțiunea permite la polarizarea directă trecerea curentului electric.
- La cristalul de siliciu tensiunea de prag este 0,6 – 1,2 V iar la cristalul de germaniu tensiunea de prag este 0,2 – 0,6 V.
- La polarizarea directă a joncțiunii PN regiunea golită se îngustează iar la polarizarea inversă regiunea golită se lărgește.
- Când se polarizează o joncțiune se conectează în circuitul electric în serie cu un rezistor care are rolul de a limita curentul electric prin joncțiune.
- La polarizarea directă rezistența electrică a joncțiunii este foarte mică și în momentul în care tensiunea pe joncțiune depășește tensiunea de prag prin joncțiune circulă un curent mare (numit și curent direct) dinspre zona **P** spre zona **N**.
- La polarizarea inversă rezistența electrică a joncțiunii este foarte mare iar prin joncțiune circulă un curent foarte mic (numit și curent invers) dinspre zona **N** spre zona **P.**
- Pentru a preveni deteriorarea joncțiunii PN se ține cont de valoarea maximă a curentului direct și valoarea tensiunii inverse maxime (tensiune de străpungere).

EVALUAREA CUNOȘTINȚELOR

I Încercuiește varianta de răspuns corectă.

1. Joncțiunea PN se formează la:
   a. Recombinarea electronilor cu golurile;
   b. Ciocnirea unui neutron și proton;
   c. Limita de separare ale semiconductoarelor de tip P și tip N.
2. Regiunea golită constă în:
   a. Purtători majoritari;
   b. Purtători minoritari;
   c. Ioni pozitivi și negativi.
3. Polarizarea înseamnă:
   a. Intensitatea curentului ce străbate joncțiunea;
   b. Tensiunea electrică dintre zonele P și N ale joncțiunii PN;
   c. Tensiunea electrică continuă aplicată la zonele P și N ale joncțiunii.
4. Tensiune de prag reprezintă:
   a. Tensiunea minimă la care joncțiunea permite trecerea curentului;
   b. Tensiunea minimă la care joncțiunea blochează trecerea curentului;
   c. Tensiunea maximă la care joncțiunea permite trecerea curentului.
5. La polarizarea directă a joncțiunii PN:
   a. Borna pozitivă a sursei de alimentare se conectează la zona N;
   b. Borna pozitivă a sursei de alimentare se conectează la zona P;
   c. Borna pozitiva a sursei de alimentare se poate conecta la orice zonă.
6. La polarizarea inversă a joncțiunii PN:
   a. Borna pozitivă a sursei de alimentare se conectează la zona N;
   b. Borna pozitivă a sursei de alimentare se conectează la zona P;
   c. Borna pozitiva a sursei de alimentare se poate conecta la orice zonă.
7. La polarizarea directă a joncțiunii PN:
   a. Curentul prin joncțiune este mare și tensiunea pe joncțiune este mică;
   b. Curentul prin joncțiune este mic și tensiunea pe joncțiune este mare;
   c. Curentul și tensiunea sunt mari.
8. La polarizarea inversă a joncțiunii PN:
   a. Curentul prin joncțiune este mare și tensiunea pe joncțiune este mică;
   b. Curentul prin joncțiune este mic și tensiunea pe joncțiune este mare;
   c. Curentul și tensiunea sunt mari.

CAPITOLUL 3. DIODA SEMICONDUCTOARE.

3.1 STRUCTURA ŞI SIMBOLUL DIODEI

Dioda semiconductoare - este un dispozitiv electronic format dintr-o joncţiune **PN** prevăzută cu două contacte metalice atașate la cele două zone numite **Anod (+)** şi **Catod(-)**. Acest ansamblu este introdus într-o capsulă cu rol de protecție și de transfer al căldurii degajate în timpul funcționării.

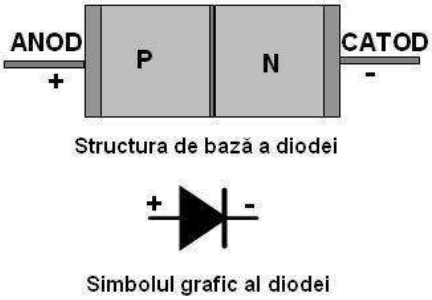


Figura 3.1 Structura şi simbolul grafic al diodei

Materialele utilizate pentru construcţia joncţiunii PN sunt metale semiconductoare (Germaniu şi Siliciu).

Capsulele diodelor pot fi din plastic, din sticlă sau metalice.

Figura 3.2 ***Capsule de diode uzuale***

Simbolurile diodelor utilizate frecvent în circuitele electronice sunt prezentate mai jos:

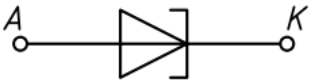
DIODA REDRESOARE

DIOADA STABILIZATOARE

DIODA CU CONTACT PUNCTIFORM

DIODA DE COMUTAȚIE

DIODA VARICAP

DIODA TUNEL 

3.2 TESTAREA DIODELOR

a. Verificarea diodelor se face cu multimetru digital prin două metode:

1. Se măsoară rezistenţa diodei în ambele sensuri.

Dioda funcționează dacă într-un sens aparatul indică rezistenţă mică (pe display este afișat un număr) iar în celălalt sens indică rezistenţă foarte mare (pe display este afișat **I.** sau .**0L**).

Pentru măsurarea rezistenței joncțiunii diodei, comutatorul multimetrului se fixează pe domeniul ohmi pe poziția 2M sau 20M

2. Se măsoară tensiunea la bornele diodei în ambele sensuri.

Dioda funcționează dacă într-un sens aparatul indică **0,7 V** iar în celălalt sens indică **0 V**.

Pentru măsurarea tensiunii pe diodă, comutatorul multimetrului se fixează pe poziția Dacă multimetrul este prevăzut cu buton de selecție a funcției se activează butonul de selecție până apare pe display simbolul diodei.

b. Identificarea terminalelor diodei semiconductoare se face prin două metode:

1. Vizual - în funcţie de tipul capsulei:

- La diodele în capsulă de plastic şi de sticlă terminalul spre care este **o bandă colorată** reprezintă **Catodul(-)**;
- La diodele în capsulă metalică terminalul care este în legătură directă cu corpul diodei reprezintă **Catodul(-).**

Figura 3.3 Identificarea terminalelor diodei in funcţie de tipul capsulei

2. Prin măsurarea rezistenței sau a tensiunii pe diodă cu multimetrului digital:

Se conectează tastele multimetrului la bornele diodei în sensul în care acesta indică rezistență mică sau indică tensiune. În această situație borna **+ (plus)** a multimetrului este conectată la **anodul diodei (+)** iar borna **– (minus)** a multimetrului este conectată la **catodul diodei (-)**.

LUCRARE DE LABORATOR

VERIFICAREA ȘI IDENTIFICAREA TERMINALELOR UNEI DIODE.

- **OBIECTIVE:**
  - Verificarea diodei semiconductoare;
  - Identificarea terminalelor diodei cu multimetru digital.
- **RESURSE:**
  - Multimetru digital;
  - Diode redresoare 1N4007.
- **DESFĂȘURAREA LUCRĂRII:**

1. Se verifică dioda prin măsurarea rezistenței joncțiunii parcurgând etapele:

- Se fixează comutatorul multimetrului pe poziția Ω;
- Se conectează tastele multimetrului la bornele diodei în ambele sensuri (se schimbă poziția terminalelor diodei față de tastele multimetrului);

a. **b.**

Figura 3.4 Măsurarea rezistenței joncțiunii diodei în ambele sensuri

- Se observă că într-un sens ohmmetrul indică rezistență (**fig. 3.4 a**) iar în celălalt sens ohmmetrul indică rezistență foarte mare (**fig.3.4 b**);
- Dacă în ambele sensuri ohmmetrul indică rezistență atunci **joncțiunea diodei este străpunsă**;
- Dacă în ambele sensuri ohmmetrul indică rezistență foarte mare atunci **joncțiunea diodei este întreruptă**.

2. Se verifică dioda prin măsurarea tensiunii pe joncțiune parcurgând etapele:

- Se fixează comutatorul multimetrului pe poziția diodă;
- Se activează butonul de selecție buzer / diodă până apare afișat pe display simbolul diodei;
- Se conectează tastele multimetrului la bornele diodei în ambele sensuri (se schimbă poziția terminalelor diodei față de tastele multimetrului);

a **b**

Figura 3.5 Măsurarea tensiunii pe joncțiunea diodei în ambele sensuri

- Se observă că într-un sens multimetrul indică tensiune → **0,5 V** (**fig. 3.5 a**) iar în celălalt sens multimetrul nu indică tensiune → **0 V** (**fig.3.5 b**);

3. Se identifică terminalele diodei astfel:

- Se conectează tastele multimetrului la terminalele diodei în sensul în care acesta indică rezistență electrică (**fig. 3.4 a**) sau indică tensiune (**fig. 3.5 a**).
- Terminalul la care este conectată tasta **+ (plus)** a multimetrului este **anodul (+)** diodei.

3.3 POLARIZAREA DIODELOR

Dioda redresoare, dioda cu contact punctiform, dioda de comutație, dioda tunel ***se polarizează direct***.

Dioda stabilizatoare, dioda varicap ***se polarizează invers***.

Prin ***polarizare*** se înţelege aplicarea la terminalele diodei a unei **tensiuni continue**. Polarizarea poate fi **directă** şi **inversă**.

Polarizare directă - constă în conectarea **bornei (+)** a sursei la **Anodul** (**+**) diodei şi a **bornei (-)** a sursei la **Catodul (-)** diodei.

O diodă este ***polarizată direct*** şi în situaţia în care ***anodul este mai pozitiv decât catodul*** .

LA POLARIZARE **DIRECTĂ** DIODA INTRĂ ÎN **CONDUCŢIE** ŞI **PERMITE** TRECEREA CURENTULUI ELECTRIC PRIN EA.

Polarizare inversă - constă în conectarea **bornei (+)** a sursei la **Catodul (-)** diodei şi a **bornei (-)** a sursei la **Anodul** (**+**) diodei.

O diodă este ***polarizată invers*** şi în situaţia în care ***anodul este mai negativ decât catodul*** .

LA POLARIZARE **INVERSĂ** DIODA SE **BLOCHEAZĂ** ŞI **NU PERMITE** TRECEREA CURENTULUI ELECTRIC PRIN EA.

Tensiunea de prag - este tensiunea minimă cu care trebuie să fie polarizată o diodă pentru a intra în conducţie.

Pentru diodele cu **siliciu** tensiunea de prag are valoarea **0,6 V** iar pentru cele cu **germaniu** are valoarea **0,2 V.**

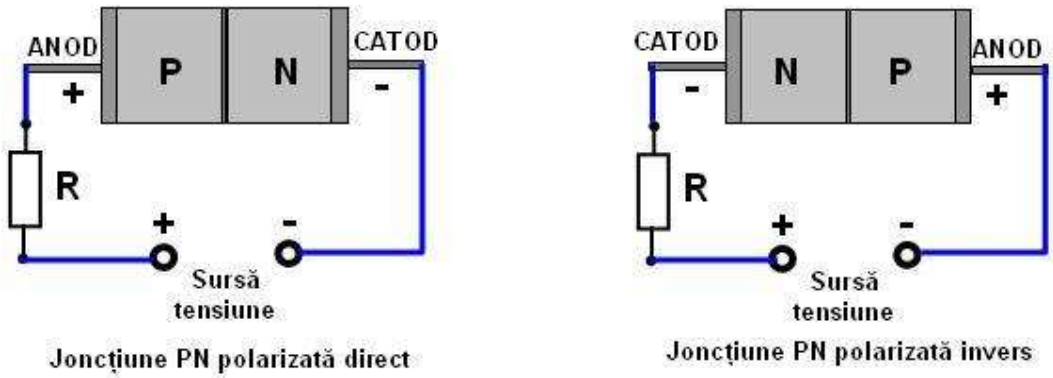


Figura 3.6 Polarizarea diodei semiconductoare

3.4 PARAMETRII CARACTERISTICI DIODELOR

a. Parametrii caracteristici diodei redresoare:

- Tensiunea continuă directă **[V_F]** – reprezintă tensiunea la bornele diodei în conducție directă, pentru un anumit curent precizat **I_F**;
- Curentul direct continuu **[I_F]** – reprezintă curentul continuu admis în regim permanent care trece prin diodă, în absența componentei alternative;
- Tensiunea directă la vârf **[V_{FM}]** – reprezintă valoarea maximă a tensiunii sinusoidale la bornele diodei în conducție directă, pentru un curent maxim precizat **I_{FM}**;
- Curentul direct la vârf **[I_{FM}]** – reprezintă valoarea maximă a curentului semi-sinusoidal în sens direct, în regim permanent;
- ***Tensiunea inversă maximă de vârf*** **[V_{RRM}]** – reprezintă tensiunea inversă maximă la care poate rezista dioda, atunci când această tensiune este atinsă în mod repetat;
- ***Curentul direct maxim de vârf*** **[I_{FRM}]** – reprezintă valoarea instantanee maximă a curentului direct, în regim permanent, incluzând toți curenții tranzitorii în absența polarizării continue;
- Curentul direct de vârf de suprasarcină accidentală **[I_{FSM}]** – reprezintă valoarea de vârf a unui impuls de curent direct, ce trece accidental prin diodă într-ul interval de timp foarte scurt (10 ms);
- Tensiunea de străpungere **[V_{BR}]** – reprezintă valoarea minimă a tensiunii la care are loc distrugerea diodei;
- Puterea disipată **[P_{dmax}]** – reprezintă valoarea maximă a puterii disipate, fără ca această putere să distrugă dioda – $P_{dmax} = V_{FM} \cdot I_{FM}$;
- Temperatura maximă a joncțiunii **[T_{jmax}]** – reprezintă temperatura maximă a joncțiunii PN. Pentru diodele cu siliciu: T_{jmax} = (- 55ºC …..+175ºC)

Tabel 3.1 - Date de catalog pentru diode redresoare din familia 1N4001-1N4007

DIODĂ	V_{RRM}[V]	I_{FRM}[A]	I_{FSM}[A]	V_F[V]	I_F[A]	P_{dmax}[W]
1N4001	50	10	30	1,1	1	3
1N4005	600	10	30	1,1	1	3
1N4007	1000	10	30	1,1	1	3

b. Parametrii caracteristici diodei stabilizatoare:

- Tensiunea nominală de stabilizare **[V_{ZT}]** – reprezintă tensiunea aplicată în sens invers la bornele diodei, care rămâne aproximativ constantă când curentul ia valori într-un anumit domeniu;
- Curentul de control al tensiunii stabilizate **[I_{ZT}]** – reprezintă curentul de control al tensiunii stabilizate;
- Curentul de stabilizare maxim **[I_{ZM}]** – reprezintă limita superioară a curentului de stabilizare peste care funcționarea diodei nu mai este garantată. Curentul de stabilizare maxim nu apare în toate cataloagele, dar mai poate fi calculat cu aproximație utilizând formula: $\mathbf{I_{ZM}} = \frac{\mathbf{P_{dmax}}}{\mathbf{V_Z}}$;
- Curentul de stabilizare minim **[I_{ZK}]** – reprezintă limita inferioară a curentului de stabilizare sub care funcționarea diodei nu mai este garantată;
- Impedanța Zener **[Z_{ZT}]** – reprezintă valoarea în ohmi a impedanței dinamice corespunzătoare curentului de control al tensiunii de stabilizare (se măsoară în regim variabil $Z_{ZT} = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z}$).

Tabel 3.2 - Date de catalog pentru diode Zener din familia BZX85C cu P_D = 1,3 W

DIODĂ	V_{ZT}[V]	I_{ZT}[mA]	Z_{ZT}[Ω]	Z_{ZK}[Ω]	I_{ZK}[mA]	I_{ZM}[mA]
BZX85C 4V7	4,7	45	13	600	1	193
BZX85C 5V1	5,1	45	10	500	1	178
BZX85C 5V6	5,6	45	7	400	1	162
BZX85C 9V1	9,1	25	5	200	0,5	100
BZX85C 10	10	25	7	200	0,5	91
BZX85C 12	12	20	9	350	0,5	76
BZX85C 15	15	15	15	500	0,5	61

SIMULARE CU AJUTORUL CALCULATORULUI

CARACTERISTICA STATICĂ A DIODEI REDRESOARE

- **OBIECTIVE:**
  - Realizarea cu ajutorul programului de simulare a circuitelor de polarizare a diodei;
  - Trasarea caracteristicii statice în funcție de valorile măsurate în circuitul simulat.
- **RESURSE:**
  - Calculator;
  - Program de simulare scheme electronice.
- **DESFĂȘURAREA LUCRĂRII:**

1. Se realizează cu simulatorul schema din **figura 3.7**;

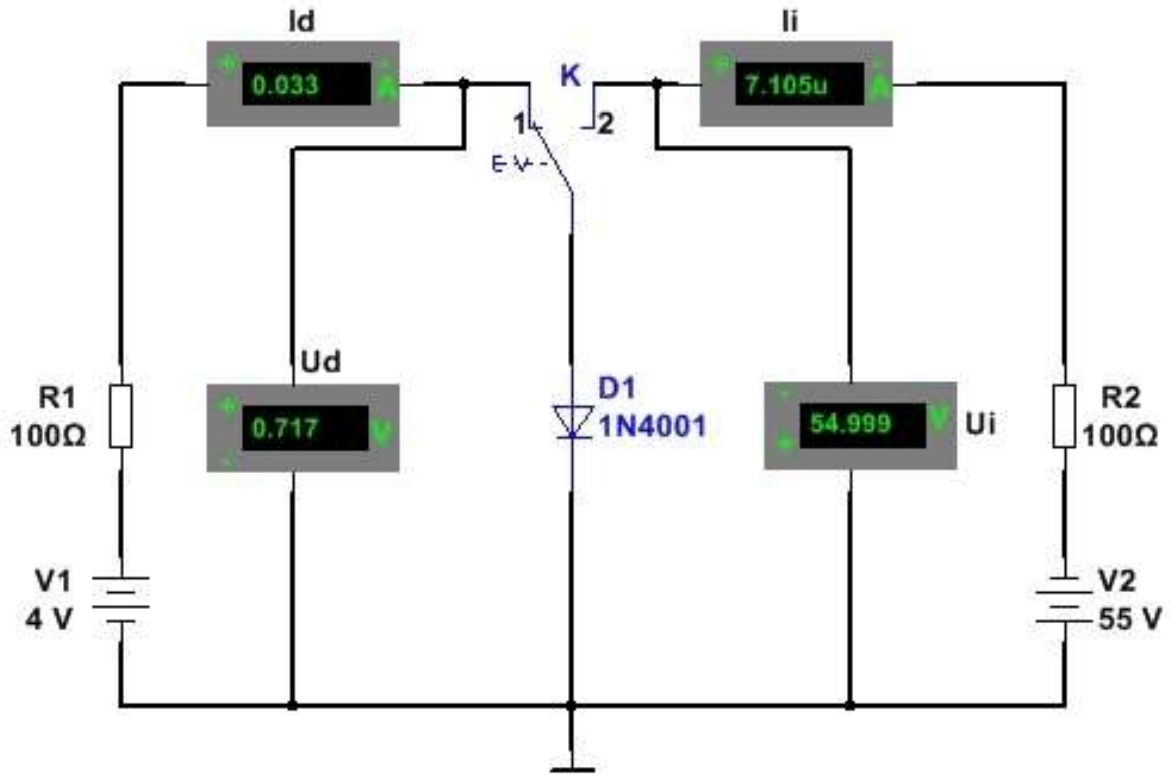


Figura 3.7 Circuite de polarizare directă și inversă a diodei redresoare

Când comutatorul K este pe poziția 1, dioda D1 este polarizată direct. Tensiunea pe diodă și curentul prin diodă sunt indicate de voltmetrul Ud respectiv ampermetrul Id. Când comutatorul K este pe poziția 2, dioda D1 este polarizată invers. Tensiunea pe diodă și curentul prin diodă sunt indicate de voltmetrul Ui respectiv ampermetrul Ii.

2. Se fixează comutatorul K pe poziția 1 și se reglează sursa V1 la valorile indicate în tabel. În fiecare caz se simulează funcționarea și se notează în tabelul 3.3 valoarea tensiunii indicate de voltmetrul Ud și a curentului indicat de ampermetrul Id;

Tabelul 3.3

V1[V]	**0,2**	**0,5**	**4**	**10**	**20**
Ud[V]					
Id[mA]					

3. Se fixează comutatorul K pe poziția 2 și se reglează sursa V2 la valorile indicate în tabel. În fiecare caz se simulează funcționarea și se notează în tabelul 3.4 valoarea tensiunii indicate de voltmetrul Ui și a curentului indicat de ampermetrul Ii;

Tabelul 3.4

V2[V]	**20**	**53**	**55**	**60**	**70**
Ui[V]					
Ii[mA]					

4. Pe baza datelor din cele două tabele se trasează prin puncte caracteristica statică directă și caracteristica statică inversă a diodei redresoare în sistemul de coordonate reprezentat în **figura 3.8**.

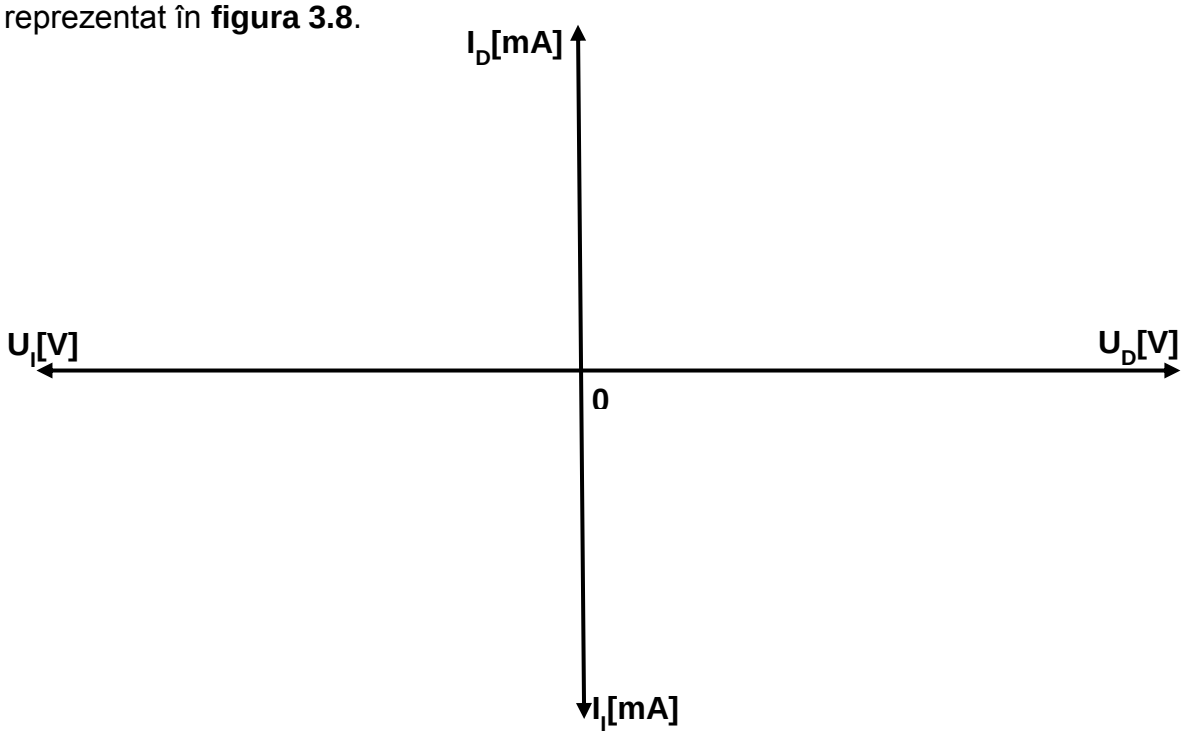


Figura 3.8 Graficul caracteristicii statice directe și inverse a diodei redresoare

CARACTERISTICA STATICĂ A DIODEI STABILIZATOARE

- **OBIECTIVE:**
  - Realizarea cu ajutorul programului de simulare a circuitelor de polarizare a diodei;
  - Trasarea caracteristicii statice în funcție de valorile măsurate în circuitul simulat.
- **RESURSE:**
  - Calculator;
  - Program de simulare scheme electronice.
- **DESFĂȘURAREA LUCRĂRII:**

1. Se realizează cu simulatorul schema din **figura 3.9**;

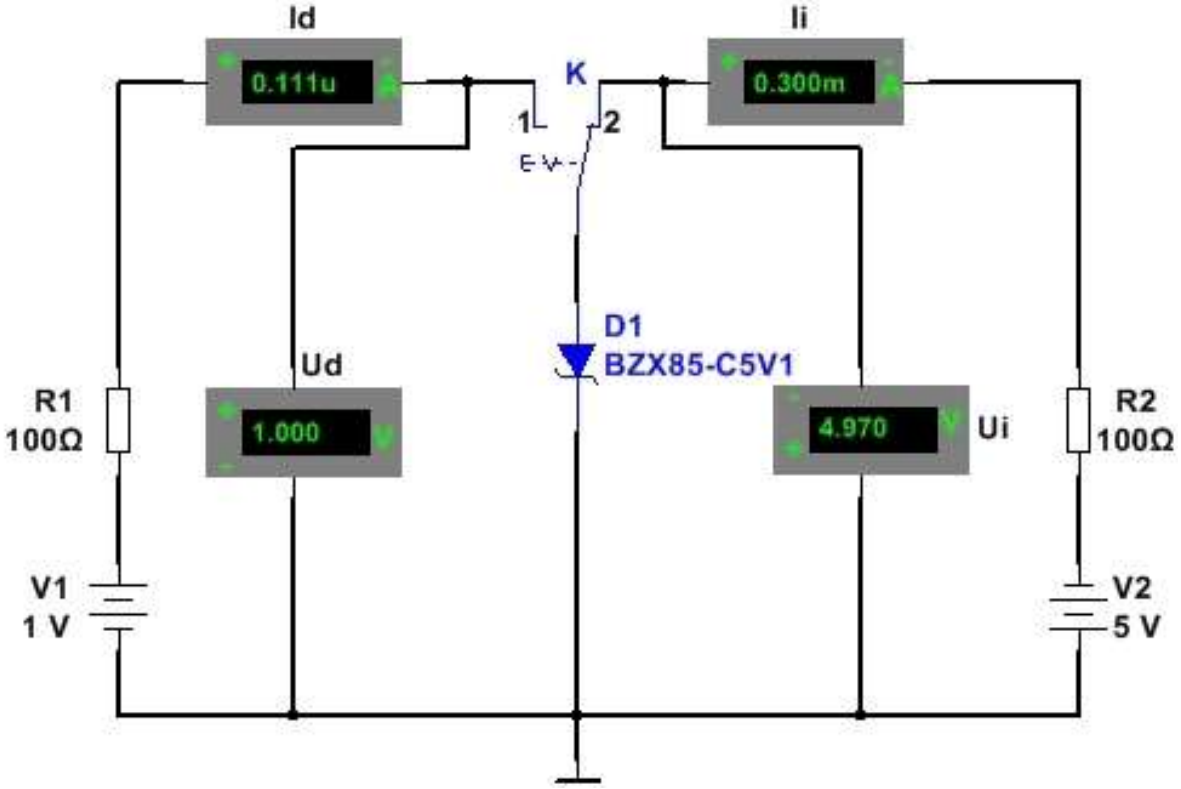


Figura 3.9 Circuite de polarizare directă și inversă a diodei stabilizatoare

Când comutatorul K este pe poziția 1, dioda D1 este polarizată direct. Tensiunea pe diodă și curentul prin diodă sunt indicate de voltmetrul Ud respectiv ampermetrul Id. Când comutatorul K este pe poziția 2, dioda D1 este polarizată invers. Tensiunea pe diodă și curentul prin diodă sunt indicate de voltmetrul Ui respectiv ampermetrul Ii.

2. Se fixează comutatorul K pe poziția 1 și se reglează sursa V1 la valorile indicate în tabel. În fiecare caz se simulează funcționarea și se notează în tabelul 3.5 valoarea tensiunii indicate de voltmetrul Ud și a curentului indicat de ampermetrul Id;

Tabelul 3.5

V1[V]	**0,5**	**1**	**5**	**10**	**15**
Ud[V]					
Id[mA]					

3. Se fixează comutatorul K pe poziția 2 și se reglează sursa V2 la valorile indicate în tabel. În fiecare caz se simulează funcționarea și se notează în tabelul 3.6 valoarea tensiunii indicate de voltmetrul Ui și a curentului indicat de ampermetrul Ii;

Tabelul 3.6

V2[V]	**3**	**5**	**7**	**10**	**15**
Ui[V]					
Ii[mA]					

4. Pe baza datelor din cele două tabele se trasează prin puncte caracteristica statică directă și caracteristica statică inversă a diodei stabilizatoare în sistemul de coordonate reprezentat în **figura 3.10**.

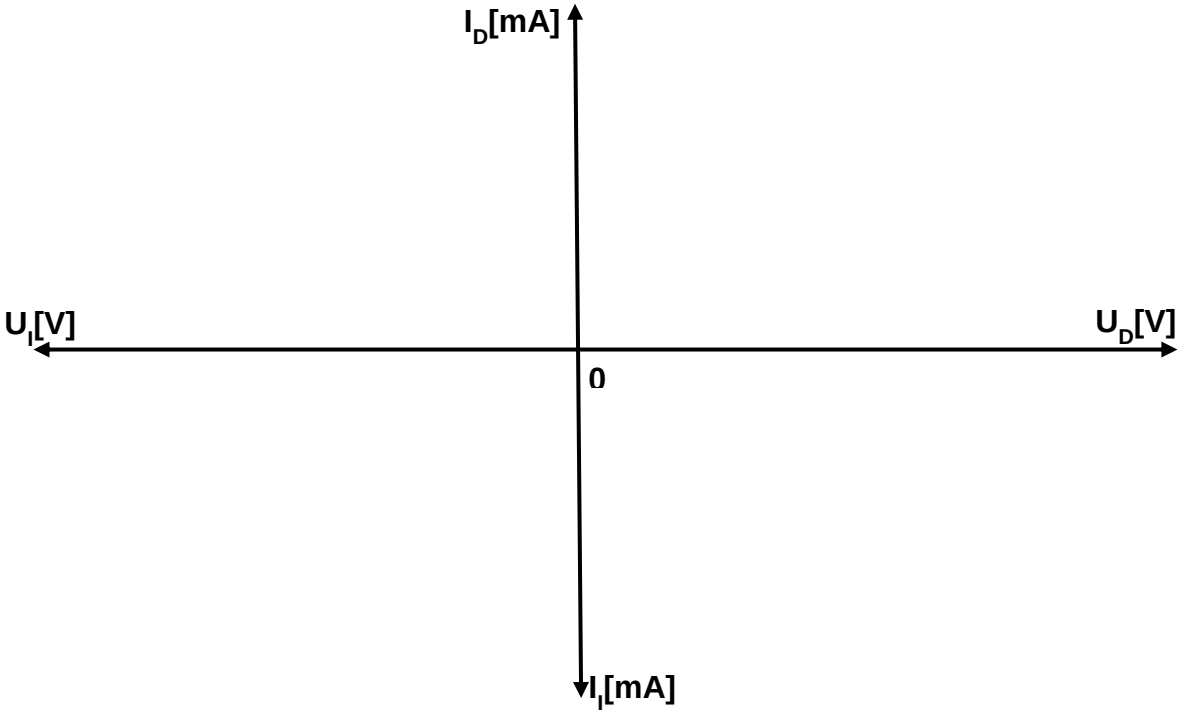


Figura 3.10 Graficul caracteristicii statice directe și inverse a diodei Zener

3.5 FUNCŢIONAREA DIODEI REDRESOARE ÎN CIRCUIT.

3.5.1 FUNCŢIONAREA DIODELOR ÎN CIRCUITE DE CURENT CONTINUU.

Dacă plasăm o diodă cu **anodul (+)** spre borna **(+)** a unei surse de alimentare, dioda intră în conducţie şi permite trecerea curentului prin ea.

Dacă plasăm o diodă cu **catodul (-)** spre borna **(+)** a unei surse de alimentare, dioda se blochează şi NU permite trecerea curentului prin ea.

În **figura 3.11** dioda este în conducţie, permite trecerea curentului electric prin ea, lampa H luminează.

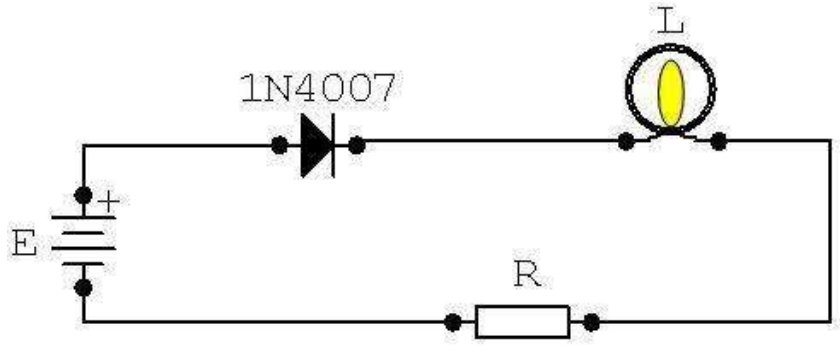


Figura 3.11 Diodă în circuit de curent continuu - polarizată direct

În **figura 3.12** dioda este blocată, NU permite trecerea curentului electric prin ea, lampa H NU luminează.

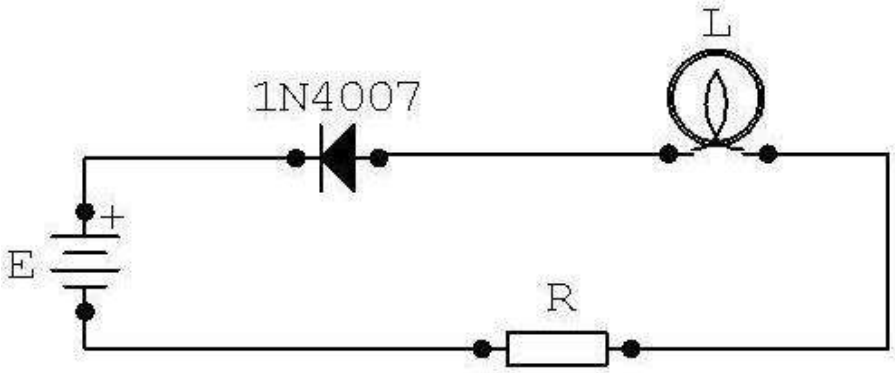


Figura 3.12 Diodă în circuit de curent continuu - polarizată invers

3.5.2 FUNCŢIONAREA DIODELOR ÎN CIRCUITE DE CURENT ALTERNATIV.

Dioda redresoare transformă tensiunea alternativă în tensiune continuă (redresează).

Dacă plasăm o diodă cu **anodul (+)** spre sursa de tensiune alternativă, dioda permite să treacă prin ea **semialternanţele pozitive** (**fig.3.13**).

Dacă plasăm o diodă cu **catodul (-)** spre sursa de tensiune alternativă, dioda permite să treacă prin ea **semialternanţele negative** (**fig.3.14**).

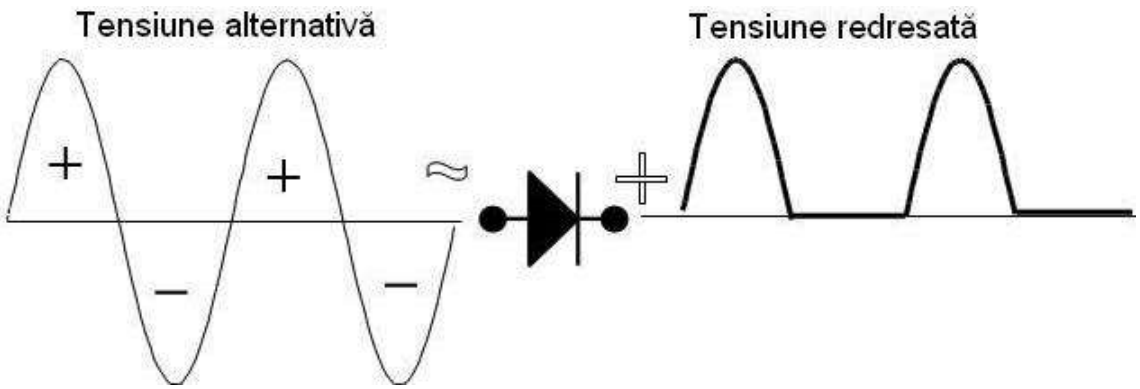


Figura 3.13 Redresarea semialternanţelor pozitive

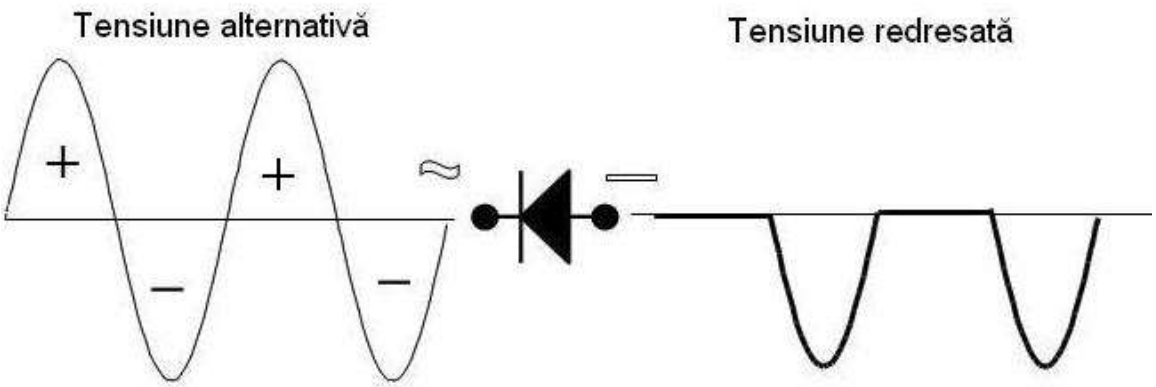


Figura 3.14 Redresarea semialternanţelor negative

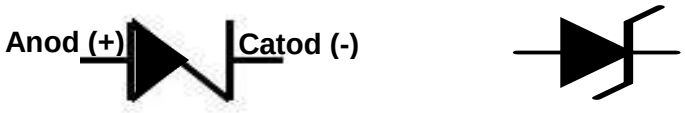
3.6 FUNCȚIONAREA DIODEI STABILIZATOARE ÎN CIRCUIT

a. Generalităţi.

Dioda stabilizatoare (Zener) – menţine la ieşirea unui circuit de curent continuu tensiunea constantă (stabilizată) în condiţiile în care se modifică, între anumite limite, valoarea tensiunii de intrare sau a curentului de sarcină (curent absorbit de consumator).

Dioda stabilizatoare se polarizează invers.

Simbolul diodei Zener.



Diodele stabilizatoare se construiesc în capsulă din sticlă, plastic sau metalică

Figura 3.15 Diode stabilizatoare de tensiune

b. Conectarea diodei în circuit.

Dioda stabilizatoare se utilizează numai în circuite de curent continuu și se polarizează întotdeauna invers. Pentru limitarea curentului prin diodă la funcționarea stabilizatorului ”în gol” (fără rezistență de sarcină), dioda stabilizatoare se conectează în circuit în serie cu un rezistor (Rz). Tensiunea de ieșire a circuitului de stabilizare ”se culege” de la bornele diodei Zener.

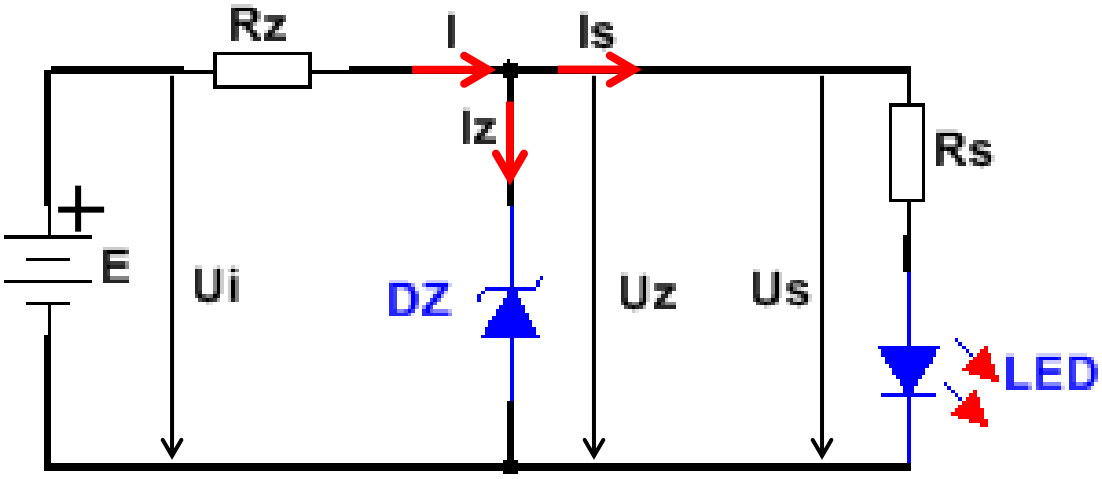


Figura 3.16 Polarizarea diodei stabilizatoare de tensiune

c. Algoritmul de calcul a elementelor de circuit.

În circuitul din **figura 3.16** se cunoaște:

LED-ul este roșu cu: U_{LED} = 1,8 V ; I_{LED} = 10 mA ;

dioda DZ este BZX85C 5V1 cu: V_{ZT} = 5,1 V ; I_{ZT} = 45 mA ; I_{ZK} = 1mA ; I_{ZM} = 178 mA.

Pentru circuitul din figura 3.16 se pot scrie relațiile:

$$\boldsymbol{Us \cong U_{DZ}} \ (1) \quad \boldsymbol{Ui = U_{Rs} + U_{DZ}} \ (2) \quad \boldsymbol{U_{Rs} = Rz \cdot I} \ (3) \quad \boldsymbol{I = Iz + Is} \ (4)$$

Pentru calculul elementelor de circuit se parcurg etapele:

1. Se calculează valoarea rezistenței de sarcină Rs :

$$\boldsymbol{Rs = \frac{Us[V] - U_{LED}[V]}{Is[mA]} \cdot 1000 = \frac{5{,}1 - 1{,}8}{10} \cdot 1000 = 330\Omega} \ \textbf{(5)}$$

unde: **Us = V_{ZT} = 5,1 V**; **Is = I_{LED} = 10 mA**;

2. Se calculează valoarea rezistenței de limitare Rz dacă se cunoaște valoarea maximă a tensiunii de intrare Ui (se consideră Ui=27 V) :

$$\boldsymbol{Rz = \frac{Ui - V_{ZT}}{I_{ZM}} = \frac{27\,V - 5{,}1\,V}{150\,mA} \cdot 1000 = 146\,\Omega} \ (6)$$

Rz = 150 Ω (prima valoare superioară standardizată).

Când se calculează Rz se consideră că valoarea curentului prin dioda Zener este maxim, stabilizatorul funcționează fără sarcină (cu ieșirea în gol);

3. Se calculează valoarea minimă a tensiunii de intrare care poate fi stabilizată de dioda Zener:

$$\boldsymbol{Ui_{min} = U_{Rz} + U_{DZ} = R \cdot (I_{ZK} + Is) + V_{ZT}}$$

$$\boldsymbol{Ui_{min} = 150\,\Omega \cdot (1\,mA + 10\,mA) + 5{,}1\,V = 1{,}6\,V + 5{,}1\,V = 6{,}7\,V} \ (7)$$

La calculul tensiunii de intrare minime se ia în considerare curentul minim de care are nevoie dioda ca să stabilizeze și curentul de sarcină necesar funcționării consumatorului;

4. Dacă se cunoaște valoarea rezistenței de limitare Rz, se calculează valoarea maximă a tensiunii de intrare care poate fi stabilizată de dioda Zener:

$$\boldsymbol{Ui_{max} = U_{Rz} + U_{DZ} = R \cdot I_{ZM} + V_{ZT}} \ (8)$$

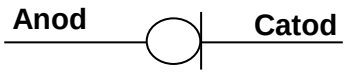
3.7 DIODE DE UZ SPECIAL

3.7.1 DIODE STABILIZATOARE DE CURENT

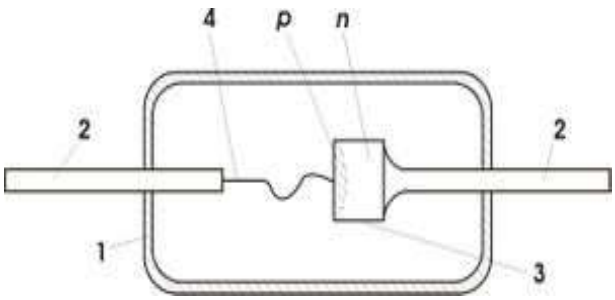
Sunt diode care menţin curentul constant între anumite limite la modificarea tensiunii din circuit. **Se polarizează direct** cu tensiuni cuprinse între 1,5 V şi 6 V .

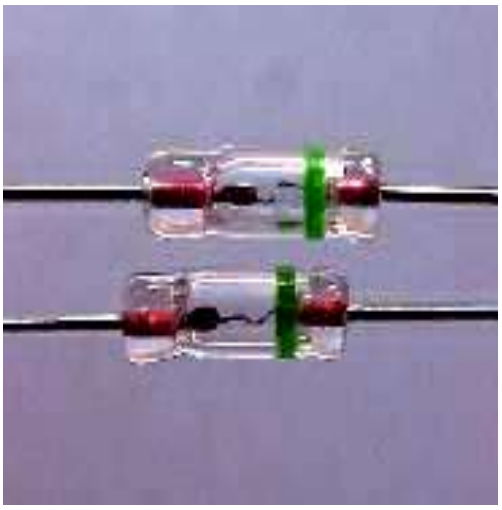
Seria de diode **1N5283 – 1N5314** au curentul de stabilizare cuprins între 0,2 - 4,7 mA.

Simbolul diodei stabilizatoare de curent



3.7.2 DIODE CU CONTACT PUNCTIFORM





Structura unei diode cu contact punctiform: 1- capsulă de sticlă;
2-electrozi metalici;
3-semiconductor de tip n;
4-conductor subtire de wolfram.

Figura 3.17 Diode cu contact punctiform

Diodele cu contact punctiform sunt diode cu capacitatea totală foarte mică (sub 1 pF) fiind utilizate în domeniul frecvenţelor înalte şi ultraînalte, ca detectoare şi schimbătoare de frecvenţă, putând fi folosite şi în regim de impulsuri, ca diode de comutaţie.

Tensiunea de deschidere $\mathbf{U_F}$ este mai mare ca la diodele redresoare, ajunge până la **2 V**.

Se **polarizează direct** şi se notează cu **AA112----AA118**, **EFD 103**, **EFD 109**…etc.

3.7.3 DIODE DE COMUTAŢIE

La aceste diode răspunsul la schimbarea condiţiilor de polarizare este foarte rapid. Timpul de comutaţie din starea de blocare în cea de conducţie şi invers este foarte mic.

1N4148 reprezintă o familie de diode de comutaţie

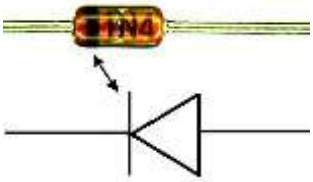
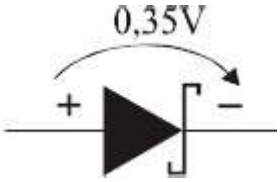


Figura 3.18 Diodă de comutație

Dioda Schottky – este o diodă de comutaţie rapidă cu timpul de comutaţie de 50 ps. Dioda se polarizează direct, iar tensiunea de deschidere a diodei este de 0,3 V.



1N5817 – 1N5819 ; SK…… ; SR……

3.7.4 DIODE VARICAP (VARACTOR)

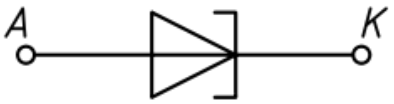
Aceste diode se **polarizează invers** şi îşi modifică capacitatea odată cu modificare tensiunii. Diodele varicap se comportă în circuit ca nişte condensatoare variabile comandate în tensiune. Capacitatea unei diode varicap se modifică de la ordinul pF până la zeci de pF.

Simbolul diodei varicap

Diodele varicap se notează cu **BB** 101, 102…..201……etc.

Figura 3.19 Diode varicap

3.7.5 DIODE TUNEL (ESAKI)



Dioda tunel este un dispozitiv electronic cu **rezistenţă dinamică negativă.**

Până la o anumită valoare a tensiunii de polarizare (U_P – tensiunea de pic) dioda tunel funcţionează ca o diodă normală (curentul prin diodă creşte odată cu tensiunea de polarizare).

Dacă tensiunea de polarizare a diodei creşte peste o anumită valoare (de la U_P la U_V- tensiunea de vale) , curentul prin diodă scade (acest fenomen poartă numele de rezistenţă negativă).

Dacă tensiunea de polarizare creşte şi mai mult (peste tensiunea U_V) dioda tunel funcţionează iarăşi ca diodă normală.

Deci dioda tunel **se polarizează direct** şi are 3 zone distincte de funcţionare.

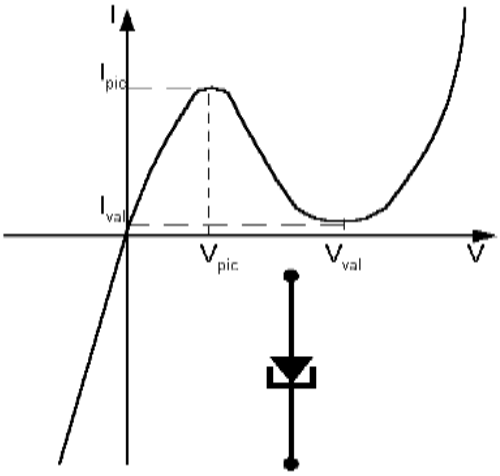


Figura 3.20 Diode tunel

Familii de diode tunel: **1N3713….1N3721** ; **1N 2927** ; **1N3149**

Dioda tunel se utilizează în circuite electronice de amplificare, oscilaţie şi comutaţie.

3.7.6 DIODE GUNN

Diodele Gunn sunt componente specifice generatoarelor de microunde şi funcţionează prin efectul Gunn, adică prin apariţia unei oscilaţii de foarte înaltă frecvenţă în semiconductoare omogene, la trecerea unui curent prin acestea. Necesită tensiuni de alimentare mici (5 – 10V) şi pot produce oscilaţii de până la 30 GHz la puteri de 100 mW.

Diodele Gunn sunt dispozitive active în domeniul microundelor, care funcţionează ca un convertor a tensiunii continue într-o tensiune oscilantă de înaltă frecvenţă.

Figura 3.21 Diode GUNN

Familii de diode GUNN: **MG 1001 – MG1061**

Se utilizează ca oscilatoare de mică şi medie putere; ca amplificatoare de microunde, cuptoare cu microunde, detectoare de mişcare, detectoare radar, radare militare.

3.7.8 DIODE PIN

O diodă PIN este formată din două regiuni, **n** şi **p**, separate de un strat intrinsec de siliciu.

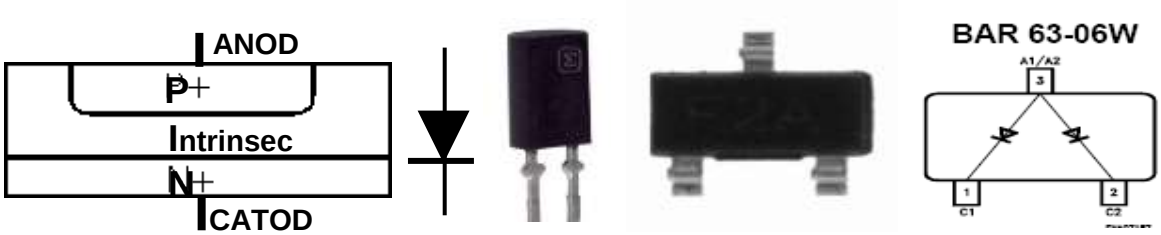


Figura 3.22 Diode PIN

În polarizare directă, funcţionează ca o rezistenţă variabilă, comandată în curent.

În polarizare inversă, funcţionează ca o capacitate relativ constantă.

Familii de diode PIN: **BAR 63-04W, BAR 63-05W, BAR 63-06W**

Se utilizează în special în circuitele de radiofrecvenţă, ca atenuatoare comandabile.

Se mai utilizează în domeniul microundelor, drept comutator comandat în tensiune continuă de variaţiile rapide ale tensiunii de polarizare, sau ca dispozitiv de modulare.

REZUMATUL CAPITOLULUI

- **Dioda semiconductoare** - este un dispozitiv electronic format dintr-o joncţiune **PN** prevăzută cu două contacte metalice atașate la cele două zone numite **Anod (+)** şi **Catod(-)**.
- Dioda funcționează dacă într-un sens ohmmetrul digital indică rezistenţă mică (pe display este afișat un număr) iar în celălalt sens indică rezistenţă foarte mare (pe display este afișat **I.** sau .**0L**).
- La diodele în capsulă de plastic şi de sticlă terminalul spre care este **o bandă colorată** reprezintă **Catodul(-)**. La diodele în capsulă metalică terminalul care este în legătură directă cu corpul diodei reprezintă **Catodul(-)**.
- Pentru identificarea terminalelor diodei, tastele ohmmetrului digital se conectează la bornele diodei în sensul în care acesta indică rezistență mică. În această situație borna **+ (plus)** a ohmmetrului este conectată la **anodul diodei (+)** iar borna **– (minus)** a ohmmetrului este conectată la **catodul diodei (-)**.
- ***Polarizare directă*** - constă în conectarea **bornei (+)** a sursei la **Anodul** (**+**) diodei şi a **bornei (-)** a sursei la **Catodul (-)** diodei. O diodă este ***polarizată direct*** şi în situaţia în care ***anodul este mai pozitiv decât catodul***.
- ***Polarizare inversă*** - constă în conectarea **bornei (+)** a sursei la **Catodul (-)** diodei şi a **bornei (-)** a sursei la **Anodul** (**+**) diodei. O diodă este ***polarizată invers*** şi în situaţia în care ***anodul este mai negativ decât catodul***.
- La polarizare **directă** dioda intră în **conducţie** şi **permite** trecerea curentului electric prin ea. La polarizare **inversă** dioda se **blochează** şi **nu permite** trecerea curentului electric prin ea.
- ***Tensiunea de prag*** - este tensiunea minimă cu care trebuie să fie polarizată o diodă pentru a intra în conducţie. Pentru diodele cu **siliciu** tensiunea de prag are valoarea **0,6 V** iar pentru cele cu **germaniu** are valoarea **0,2 V**.
- Dacă plasăm o diodă redresoare cu **anodul (+)** spre borna **(+)** a unei surse de alimentare, dioda intră în conducţie şi permite trecerea curentului prin ea. Dacă plasăm o diodă redresoare cu **catodul (-)** spre borna **(+)** a unei surse de alimentare, dioda se blochează şi NU permite trecerea curentului prin ea.

- Dacă plasăm o diodă redresoare cu **anodul (+)** spre sursa de tensiune alternativă, dioda permite să treacă prin ea **semialternanţele pozitive**. Dacă plasăm o diodă redresoare cu **catodul (-)** spre sursa de tensiune alternativă, dioda permite să treacă prin ea **semialternanţele negative**.
- **Dioda stabilizatoare (Zener)** – menţine la ieşirea unui circuit de curent continuu tensiunea constantă (stabilizată) în condiţiile în care se modifică, între anumite limite, valoarea tensiunii de intrare sau a curentului de sarcină (curent absorbit de consumator) .
- **Diodele cu contact punctiform** sunt diode cu capacitatea totală foarte mică (sub 1 pF) fiind utilizate în domeniul frecvenţelor înalte şi ultraînalte, ca detectoare şi schimbătoare de frecvenţă, putând fi folosite şi în regim de impulsuri, ca diode de comutaţie.
- **Diodele de comutație** sunt diode la care răspunsul la schimbarea condiţiilor de polarizare este foarte rapid. Timpul de comutaţie din starea de blocare în cea de conducţie şi invers este foarte mic.
- **Diodele varicap** îşi modifică capacitatea odată cu modificare tensiunii. Aceste diode se comportă în circuit ca nişte condensatoare variabile comandate în tensiune.
- **Dioda tunel** este un dispozitiv electronic cu rezistenţă dinamică negativă. Până la o anumită valoare a tensiunii de polarizare (U_P – tensiunea de pic) dioda tunel funcţionează ca o diodă normală (curentul prin diodă creşte odată cu tensiunea de polarizare). Dacă tensiunea de polarizare a diodei creşte peste o anumită valoare (de la U_P la U_V- tensiunea de vale) , curentul prin diodă scade (acest fenomen poartă numele de rezistenţă negativă).
- **Diodele Gunn** sunt componente specifice generatoarelor de microunde şi funcţionează prin efectul Gunn, adică prin apariţia unei oscilaţii de foarte înaltă frecvenţă în semiconductoare omogene, la trecerea unui curent prin acestea.
- **Dioda PIN** este formată din două regiuni, **n** şi **p**, separate de un strat intrinsec de siliciu. În polarizare directă, funcţionează ca o rezistenţă variabilă, comandată în curent. În polarizare inversă, funcţionează ca o capacitate relativ constantă.

EVALUAREA CUNOȘTINȚELOR

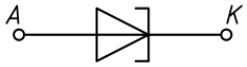
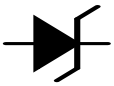
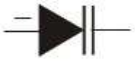
I Încercuiește varianta sau variantele de răspuns corectă.

1. La o diodă cu siliciu, valoarea tipică a tensiunii de polarizare directă este:
   a. Mai mică de 0,3 V;
   b. Între 0,3 V și 0,6 V;
   c. Mai mare de 0,6 V.
2. La polarizare directă dioda:
   a. Nu conduce curentul;
   b. Conduce curentul;
   c. Are rezistență mare;
   d. Are rezistență mică.
3. Pentru a permite trecerea curentului prin ea o diodă trebuie:
   a. Să fie polarizată direct;
   b. Să fie polarizată invers;
   c. Tensiunea de polarizare să fie mai mare decât tensiunea de prag.

II Completează spațiile libere cu termenii corespunzători

1. Dioda Zener stabilizează tensiunea într-un circuit dacă este polarizată …….;
2. Diodele cu contact punctiform sunt utilizate în domeniul frecvențelor ……;
3. Diodele varicap se comportă în circuit ca niște ……...;

III Stabilește asocierea corectă dintre tipurile de diode din coloana A și simbolurile grafice din coloana B.

A – TIP DE DIODĂ		B – SIMBOL GRAFIC	
1	DIODĂ STABILIZATOARE	a	
2	DIODĂ TUNEL	b	
3	DIODĂ VARICAP	c	
4	DIODĂ DE COMUTAȚIE	d	

CAPITOLUL 4. APLICAȚII ALE DIODELOR SEMICONDUCTOARE

4.1 REDRESORUL MONO-ALTERNANȚĂ

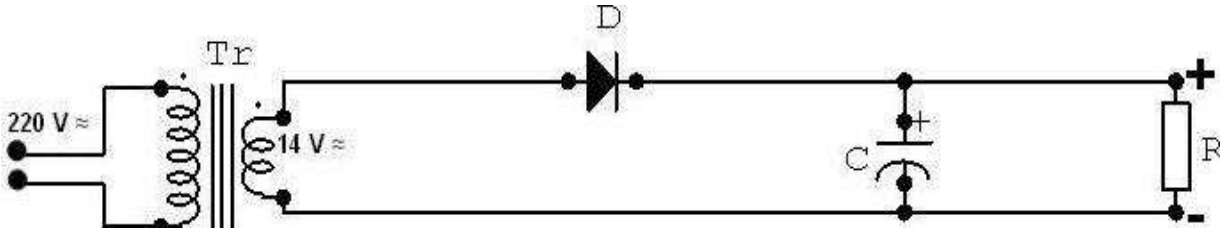


Fig.4.1 Schema electronică a redresorului mono-alternanţă

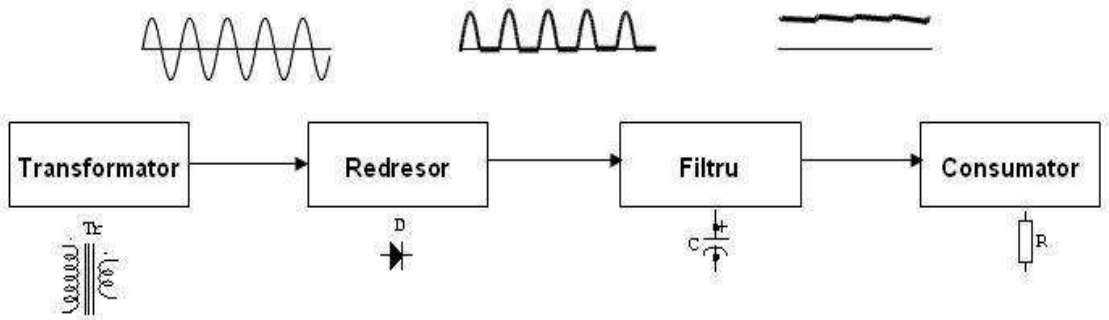


Fig. 4.2 Schema bloc a redresorului mono-alternanţă

TRANSFORMATORUL - **reduce** tensiunea de alimentare alternativă de la 220 V la o tensiune necesară funcţionării montajului.

REDRESORUL - **transformă** tensiunea de intrare de **curent alternativ** într-o tensiune pulsatorie de **curent continuu.**

FILTRUL - **elimină fluctuaţiile** tensiunii redresate, furnizând la ieşirea sa o tensiune de c.c. relativ constantă.

Tensiunea de vârf (maximă) - Uv - reprezintă valoarea tensiunii alternative indicată de un osciloscop.

Tensiunea de vârf din secundar - Uv(sec) - reprezintă valoarea tensiunii indicată de un osciloscop în secundarul transformatorului.

Tensiunea de vârf la ieşire - Uv(out) - reprezintă valoarea tensiunii redresate indicată de un osciloscop.

Tensiunea efectivă - Uef - reprezintă valoarea tensiunii alternative indicată de un voltmetru de c.a.

Tensiunea medie redresată - Umed - reprezintă valoarea tensiunii redresate indicată de un voltmetru de c.c.

$$Uv = \sqrt{2} \cdot Uef \qquad Uv(out) = Uv(\sec) - 0,7V \qquad Umed = \frac{Uv(out)}{\pi}$$

4.2 REDRESORUL DUBLĂ-ALTERNANŢĂ CU PRIZĂ MEDIANĂ

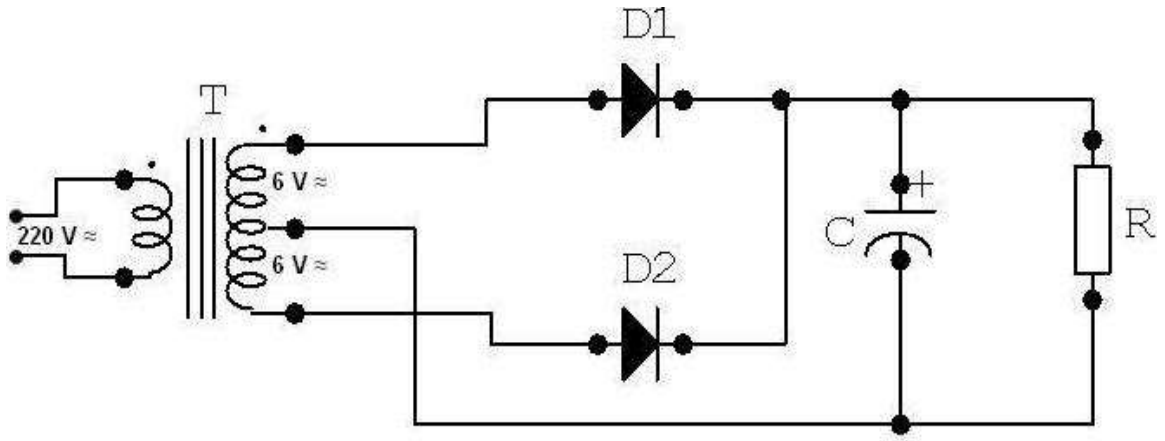


Figura 4.3 Schema electronică a redresorului dublă alternanţă cu priză mediană

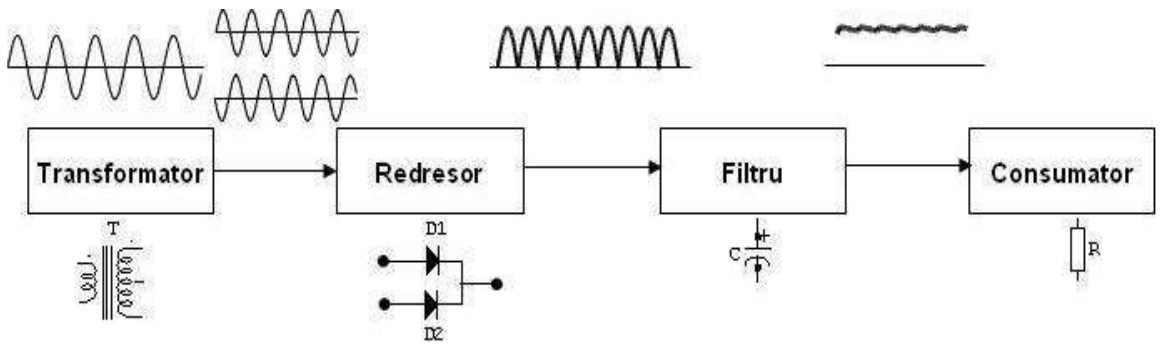


Fig. 4.4 Schema bloc a redresorului dublă alternanţă cu priză mediană

Transformatorul cu priză mediană - are în secundar 2 înfăşurări identice are au câte un capăt conectat la priza mediană.

Între priza mediană a secundarului şi fiecare dintre capetele acestuia se regăseşte câte o jumătate din tensiunea totală din secundar.

Când în primar este semialternanţa pozitivă în secundar pe înfăşurarea conectată la dioda D1 este semialternanţă pozitivă iar pe înfăşurarea conectată la dioda D2 este semialternanţă negativă. În această situaţie dioda D1 conduce iar dioda D2 este blocată.

Când în primar este semialternanţa negativă în secundar pe înfăşurarea conectată la dioda D1 este semialternanţă negativă iar pe înfăşurarea conectată la dioda D2 este semialternanţă pozitivă. În această situaţie dioda D1 este blocată iar dioda D2 conduce.

$$Uv = \sqrt{2} \cdot Uef \qquad Uv(out) = \frac{Uv(\sec)}{2} - 0,7V \qquad Umed = \frac{2 \cdot Uv(out)}{\pi}$$

4.3 REDRESORUL DUBLĂ-ALTERNANŢĂ ÎN PUNTE

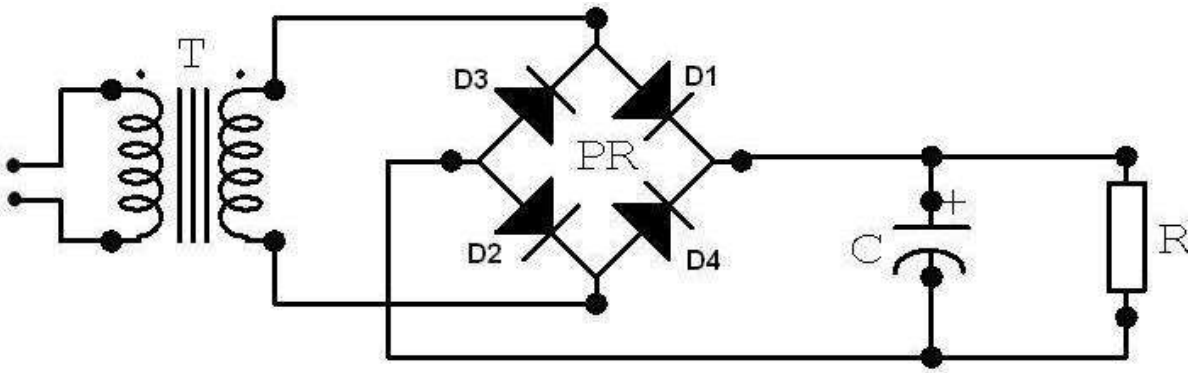


Figura 4.5 Schema electronică a redresorului dublă alternanţă în punte

Redresorul dubă alternanţă în punte utilizează 4 diode dispuse ca în **figura 4.5** şi funcţionează astfel:

- pentru semialternanţa pozitivă a tensiunii de intrare diodele D1 şi D2 sunt polarizate direct, prin D1 trece (+) iar prin D2 trece (-). Diodele D3 şi D4 sunt polarizate invers;
- pentru semialternanţa negativă a tensiunii de intrare diodele D3 şi D4 sunt polarizate direct, prin D3 trece (-) iar prin D4 trece (+). Diodele D1 şi D2 sunt polarizate invers.

Forma tensiunii de ieşire este ca la redresorul dublă alternanţă cu priză mediană.

La redresorul dublă alternanţă valoarea tensiunii de ieşire este dublă faţă de valoarea tensiunii de ieşire de la redresorul mono-alternanţă.

$$Uv = \sqrt{2} \cdot Uef \qquad Uv(out) = Uv(\sec) - 1,4V \qquad Umed = \frac{2 \cdot Uv(out)}{\pi}$$

4.3.1 PUNTEA REDRESOARE

Puntea redresoare are 2 porţi cu câte 2 terminale fiecare poartă. Terminalele opuse reprezintă o poartă.

Poarta de intrare (notată cu **≈** şi **≈**) este conectată la sursa de tensiune alternativă iar poarta de ieşire (notată cu **+** şi **-**) este conectată la montaj.

Puntea redresoare poate fi monobloc (**figura 4.6**) sau poate fi construită utilizând 4 diode redresoare.

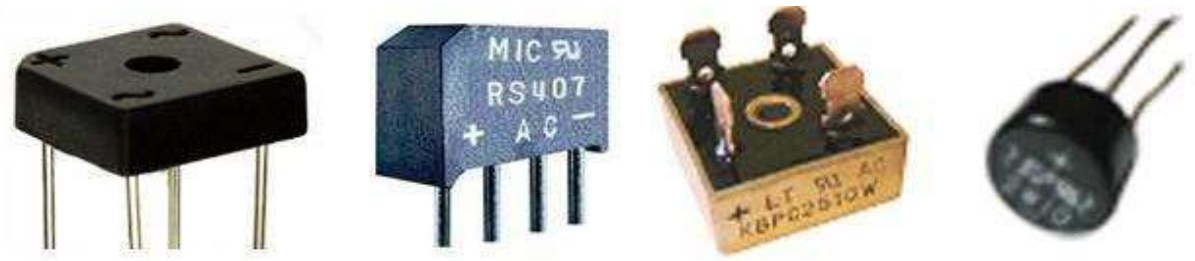


Figura 4.6 Punţi redresoare monobloc

a. Construirea unei punţi redresoare utilizând 4 diode.

- se desenează un romb şi se stabileşte poarta de intrare şi poarta de ieşire pe câte 2 vârfuri opuse ale rombului;
- pe fiecare latură a rombului se stabileşte ce semialternanţă trebuie să treacă şi sensul de parcurgere al laturii (de la intrare spre ieşire);
- pe fiecare latură se plasează o diodă astfel încât să permită trecerea semialternanţei stabilite la punctul precedent.

În **figura 4.7** sunt reprezentate de la stânga la dreapta etapele de realizare a unei punţi redresoare.

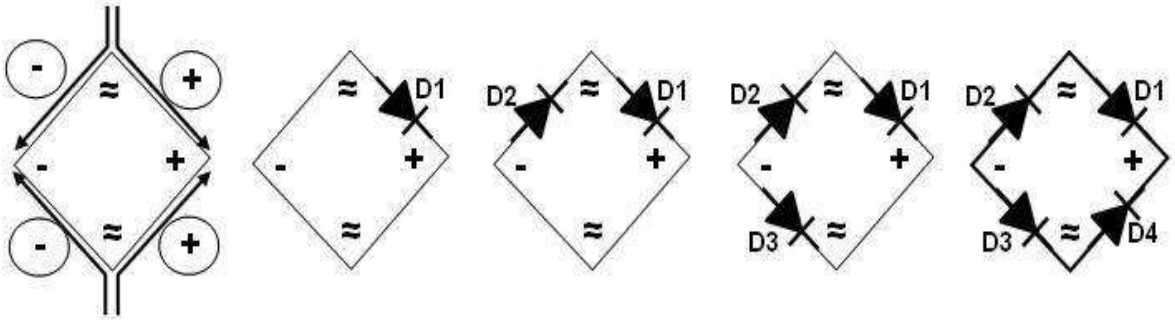


Figura 4.7 Etapele de realizare a punţii redresoare cu 4 diode

b. Identificarea porţilor şi terminalelor unei punţi redresoare monobloc.

O poartă este formată din 2 terminale opuse ale punţii. Dacă puntea are terminalele liniare, cele de pe margini reprezintă o poartă iar cele din interior altă poartă.

Pe **poarta de intrare (≈)** multimetrul indică în ambele sensuri **rezistenţă foarte mare**

Pe **poarte de ieşire (+ -)** multimetrul indică într-un sens **rezistenţă foarte mare** iar în celălalt sens **rezistenţă mică.**

Pentru a identifica terminalul **(+)** şi terminalul **(-)** al porţii de ieşire , se conectează multimetrul la poarta de ieşire în sensul în care indică **rezistenţă mică.**

În această situaţie **tasta (+) a multimetrului** se află pe **terminalul (-) al porţii de ieşire** iar **tasta (-) a multimetrului** se află pe **terminalul (+) al porţii de ieşire.**

OBSERVAŢIE: pentru măsurătorile explicate mai sus s-a utilizat un multimetru digital.

c. Marcarea punții redresoare monobloc.

3 PM 4

curentul maxim [A] tensiunea inversă maximă [sute de volți]

Puntea marcată cu **3PM4** suportă un curent maxim de **3 A** și o tensiune inversă de **400 V**.

SIMULARE CU AJUTORUL CALCULATORULUI

CIRCUITE DE REDRESARE

- **OBIECTIVE:**
  - Realizarea cu ajutorul programului de simulare a circuitelor de redresare;
  - Măsurarea unor mărimi electrice în diferite puncte a circuitelor de redresare;
  - Vizualizarea cu ajutorul osciloscopului a formelor de undă în diferite puncte a circuitelor de redresare .
- **RESURSE:**
  - Calculator;
  - Program de simulare scheme electronice.
- **DESFĂȘURAREA LUCRĂRILOR:**

A. REDRESORUL MONO-ALTERNANȚĂ.

1. Se realizează cu simulatorul schema redresorului mono-alternanță din **figura 4.8**;

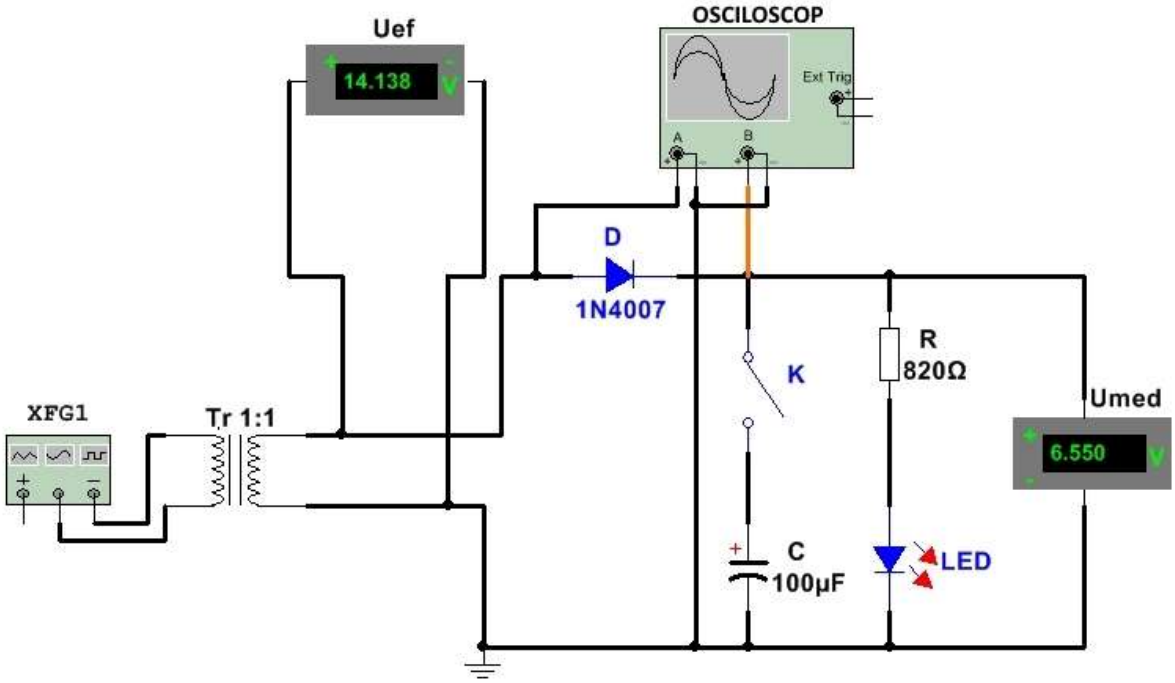


Figura 4.8 Schema redresorului mono-alternanță realizată cu simulatorul

2. La generatorul de semnal sinusoidal (**XFG1**) se setează:

- frecvența = 50 Hz;
- amplitudinea = 20Vp

Transformatorul Tr se setează la raportul 1:1. Nu este obligatoriu să se utilizeze transformator, generatorul poate fi conectat direct în circuit;

3. Se conectează în circuit osciloscopul, cu canalul A la intrarea în redresor și cu canalul B la ieșirea din redresor;

4. Cu întrerupătorul K în poziția deschis (fără filtru) se simulează funcționarea și se notează în tabelul 4.1 valorile Uef și Umed indicate de voltmetrele din circuit și Uv indicată de osciloscop. Oscilograma în această situație este prezentată în **figura 4.9**. Osciloscopul este reglat la 10 V/div și 10 ms/div;

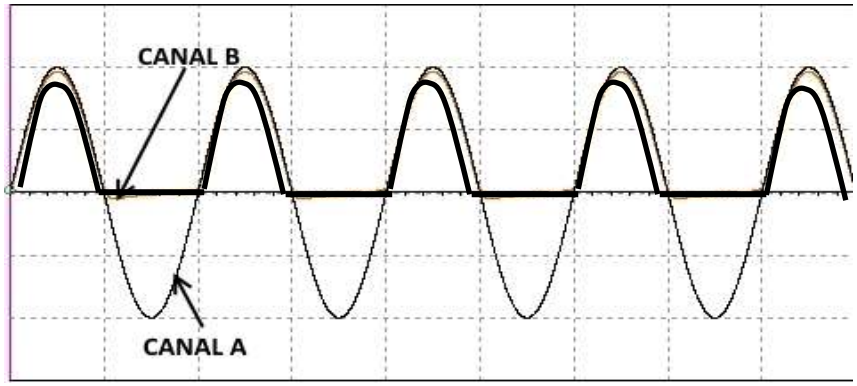


Figura 4.9 Oscilograma redresorului mono-alternanță – fără filtru

5. Cu întrerupătorul K în poziția închis (tensiunea este filtrată) se simulează funcționarea și se notează în tabelul 4.1 valorile Uef și Umed indicate de voltmetrele din circuit și Uv indicată de osciloscop. Oscilograma în această situație este prezentată în **figura 4.10**. Osciloscopul este reglat la 10 V/div și 10 ms/div;

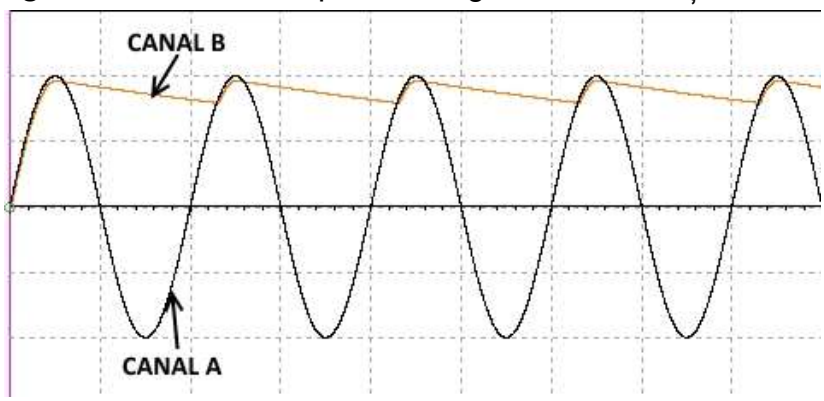


Figura 4.10 Oscilograma redresorului mono-alternanță – cu filtru

TABELUL 4.1

K deschis			K închis		
Uv	**Uef**	**Umed**	**Uv**	**Uef**	**Umed**

6. Calculați **Uef** și **Umed** cu ajutorul formulelor prezentate la redresorul mono-alternanță.

B. REDRESORUL DUBLĂ-ALTERNANȚĂ CU PRIZĂ MEDIANĂ.

1. Se realizează cu simulatorul schema redresorului dublă-alternanță din **figura 4.11**;

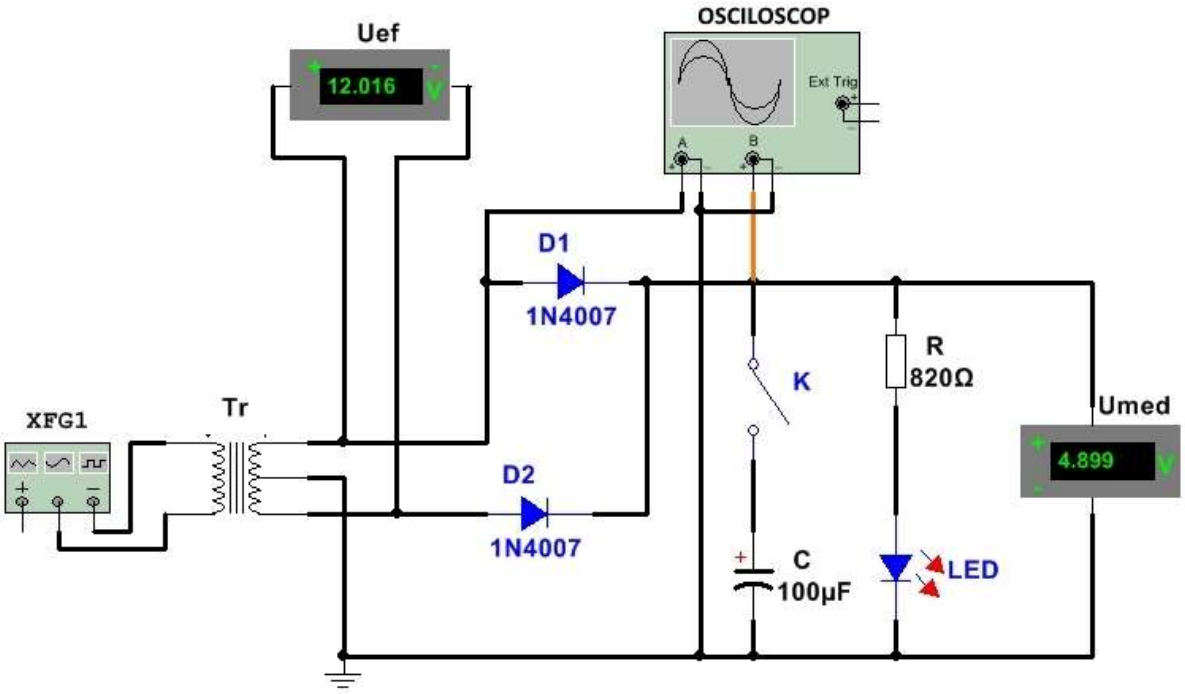


Figura 4.11 Schema redresorului dublă-alternanță realizată cu simulatorul

2. La generatorul de semnal sinusoidal (**XFG1**) se setează:

- frecvența = 50 Hz;
- amplitudinea = 17Vp;

3. Se conectează în circuit osciloscopul, cu canalul A la intrarea în redresor și cu canalul B la ieșirea din redresor;

4. Cu întrerupătorul K în poziția deschis (fără filtru) se simulează funcționarea și se notează în tabelul 4.2 valorile Uef și Umed indicate de voltmetrele din circuit și Uv indicată de osciloscop. Oscilograma este prezentată în **figura 4.12**.

Osciloscopul este reglat la 10 V/div și 10 ms/div;

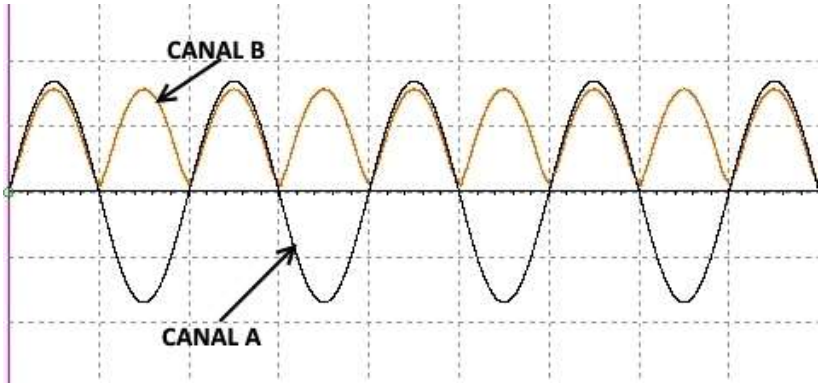


Figura 4.12 Oscilograma redresorului mono-alternanță – fără filtru

5. Cu întrerupătorul K în poziția închis (tensiunea este filtrată) se simulează funcționarea și se notează în tabelul 4.2 valorile Uef și Umed indicate de voltmetrele din circuit și Uv indicată de osciloscop. Oscilograma în această situație este prezentată în **figura 4.13**. Osciloscopul este reglat la 10 V/div și 10 ms/div;

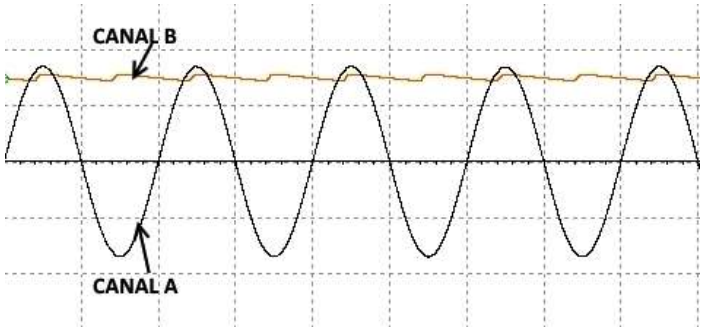


Figura 4.13 Oscilograma redresorului mono-alternanță – cu filtru

TABELUL 4.2

K deschis			K închis		
Uv	**Uef**	**Umed**	**Uv**	**Uef**	**Umed**

6. Calculați **Uef** și **Umed** cu ajutorul formulelor prezentate la redresorul dublă-alternanță.

C. REDRESORUL DUBLĂ-ALTERNANȚĂ ÎN PUNTE.

Se realizează cu simulatorul schema redresorului în punte din **figura 4.14**, apoi se parcurg etapele care s-au parcurs la lucrarea anterioară.

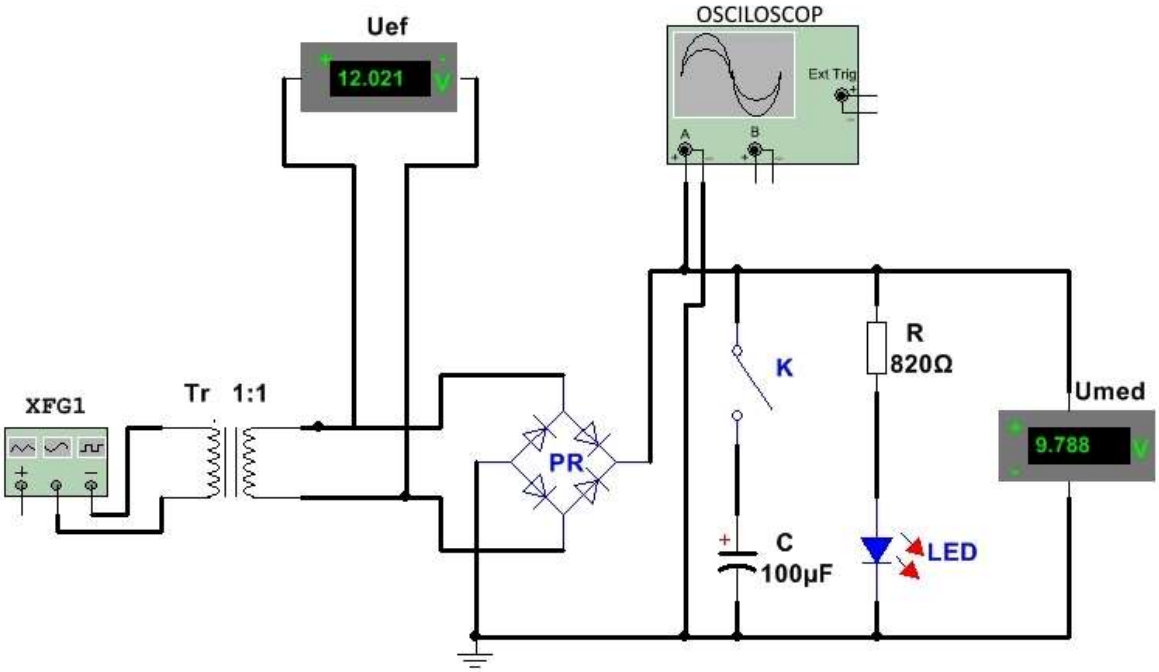


Figura 4.14 Schema redresorului în punte realizată cu simulatorul

SIMULARE CU AJUTORUL CALCULATORULUI

STABILIZATOARE DE TENSIUNE PARAMETRICE

- **OBIECTIVE:**
  - Realizarea cu ajutorul programului de simulare a circuitelor de stabilizare cu diodă Zener;
  - Măsurarea unor mărimi electrice în diferite puncte a circuitelor de redresare;
  - Determinarea parametrilor electrici limită ai unui circuit de stabilizare cu diodă Zener.
- **RESURSE:**
  - Calculator;
  - Program de simulare scheme electronice.
- **DESFĂȘURAREA LUCRĂRILOR:**

A. Stabilizator de tensiune în raport cu variația tensiunii de intrare.

1. Realizați cu simulatorul schema stabilizatorului din **figura 4.15**;

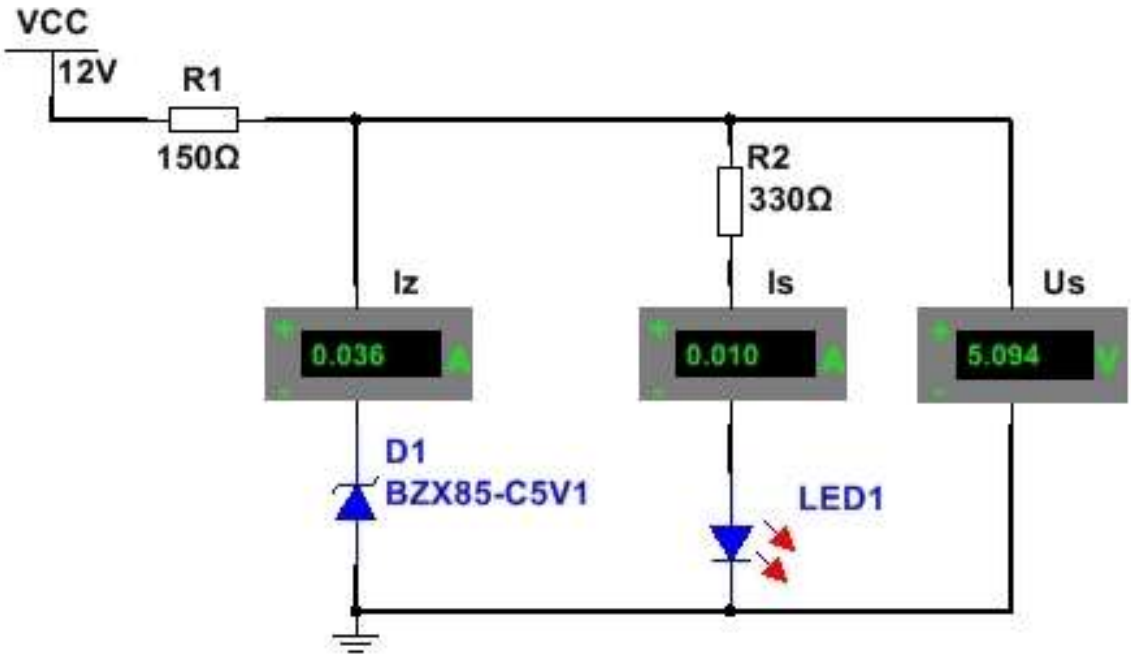


Figura 4.15 Schemă stabilizator parametric realizată cu simulatorul

2. Modificați tensiunea sursei de alimentare la valorile indicate în tabelul 4.3 și în fiecare caz simulați funcționarea circuitului;

3. La fiecare simulare notați în tabel valoarea curentului prin dioda Zener **Iz**, valoarea curentului de sarcină **Is** și valoarea tensiunii pe sarcină **Us**;

TABELUL 4.3

Ui[V]	7	10	12	16	20	24	28
Iz[mA]							
Is[mA]							
Us[V]							

4. Calculați limita inferioară și superioară a tensiunii de intrare ce poate fi stabilizată cu dioda Zener;

B. Stabilizator de tensiune în raport cu variația curentului de sarcină.

1. Realizați cu simulatorul schema stabilizatorului din **figura 4.16**;

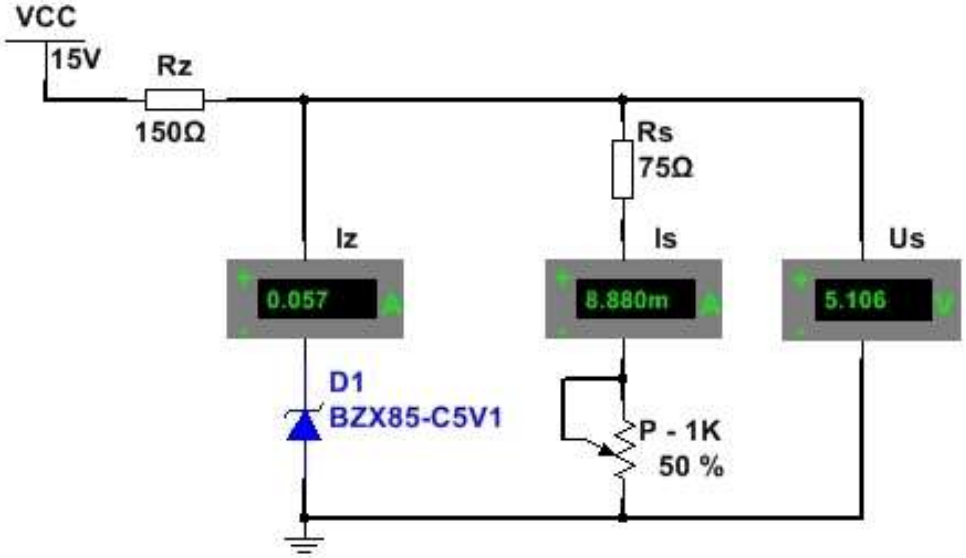


Figura 4.16 Schemă stabilizator cu diodă Zener realizată cu simulatorul

2. Modificați valoare potențiometrului P conform tabelului 4.4 și notați în tabel valoarea curentului prin dioda Zener **Iz**, valoarea curentului de sarcină **Is** și valoarea tensiunii pe sarcină **Us**;

TABELUL 4.4

P[%]	0	1	2	5	10	50	100
Iz[mA]							
Is[mA]							
Us[V]							

3. Pentru montajul din **figura 4.16** calculați valoare rezistenței de sarcină **Rs** pentru **Iz = 45 mA.**

REZUMATUL CAPITOLULUI

- **Tensiunea de vârf (maximă) - Uv -** reprezintă valoarea tensiunii alternative indicată de un osciloscop. $\boldsymbol{Uv = Uef \cdot \sqrt{2}}$.
- **Tensiunea efectivă - Uef -** reprezintă valoarea tensiunii alternative indicată de un voltmetru de c.a.
- **Tensiunea de vârf din secundar - Uv(sec) -** reprezintă valoarea tensiunii indicată de un osciloscop în secundarul transformatorului.
- **Tensiunea de vârf la ieşire - Uv(out) -** reprezintă valoarea tensiunii redresate indicată de un osciloscop:
  - pentru redresorul mono-alternanță: $Uv(out) = Uv(\sec) - 0{,}7V$;
  - pentru redresorul cu priză mediană: $Uv(out) = \frac{Uv(\sec)}{2} - 0{,}7V$;
  - pentru redresorul în punte: $Uv(out) = Uv(\sec) - 1{,}4V$.
- **Tensiunea medie redresată - Umed -** reprezintă valoarea tensiunii redresate indicată de un voltmetru de c.c:
  - pentru redresorul mono-alternanță: $Umed = \frac{Uv(out)}{\pi}$;
  - pentru redresorul cu priză mediană: $Umed = 2 \cdot \frac{Uv(out)}{\pi}$;
  - pentru redresorul în punte: $Umed = 2 \cdot \frac{Uv(out)}{\pi}$.
- ***Rezistența de polarizare*** a unei diode Zener - **Rz,** se calculează considerând că valoare curentului prin diodă este maxim, cu formula: $\boldsymbol{Rz = \frac{Ui - V_{ZT}}{I_{ZM}}}$

  unde: **Ui** = tensiunea de intrare, $\mathbf{V_{ZT}}$= tensiunea de stabilizare a diodei Zener, $\mathbf{I_{ZM}}$ = curentul maxim suportat de dioda Zener**.**
- ***Valoarea maximă*** a tensiunii de intrare ce poate fi stabilizată de dioda Zener se calculează cu formula: $\boldsymbol{Ui_{max} = U_{Rz} + V_{ZT} = Rz \cdot I_{ZM} + V_{ZT}}$;
- ***Valoarea minimă*** a tensiunii de intrare ce poate fi stabilizată de dioda Zener se calculează cu formula: $\boldsymbol{Ui_{min} = U_{Rz} + V_{ZT} = Rz \cdot I_{ZK} + V_{ZT}}$

  unde: $\mathbf{I_{ZK}}$ = curentul minim la care dioda Zener stabilizează.
- Rezistența de sarcină minimă se calculează pentru un curent de sarcină maxim $\mathbf{Is_{max}}$ cu formula: $\boldsymbol{Rs_{min} = \frac{U_{OUT}}{Is_{max}}}$ unde: $\mathbf{U_{OUT} = V_{ZT}}$

$$\boldsymbol{Is_{max} = \left(\frac{Ui - V_{ZT}}{Rz}\right) - I_{ZK}} \; .$$

EVALUAREA CUNOȘTINȚELOR

I Încercuiește varianta de răspuns corectă.

1. La un redresor mono-alternanță tensiunea măsurată cu un voltmetru în secundarul transformatorului este 12 V. Valoarea tensiunii maxime este:

a. 16 V;

b. 16,9 V;

c. 20 V.

2. La un redresor mono-alternanță tensiunea măsurată cu un voltmetru în secundarul transformatorului este 12 V. Valoarea tensiunii redresate indicate de un voltmetru este:

a. 5,15 V;

b. 5,38 V;

c. 11,3 V.

3. La un redresor în punte tensiunea măsurată cu un voltmetru în secundarul transformatorului este 12 V. Valoarea tensiunii redresate indicate de un voltmetru este:

a. 9,87 V;

b. 10,3 V;

c. 10,6 V.

II. În schema din figura 4.17 parametrii diodei Zener sunt: V_{ZT} = 12V, I_{ZK} = 0,5 mA, I_{ZM}= 76 mA iar R_Z = 165 Ω . Calculați:

a. Valoarea maximă a tensiunii de intrare $\mathbf{Ui_{max}}$ ce poate fi stabilizată.

b. Valoarea minimă a tensiunii de intrare $\mathbf{Ui_{min}}$ ce poate fi stabilizată.

c. Rezistența de sarcină minimă.

d. Valoarea rezistenței de polarizare **Rz** în situația în care **I_{ZT} = 20 mA**, **Ui=24 V** și **Rs = 165 Ω**.

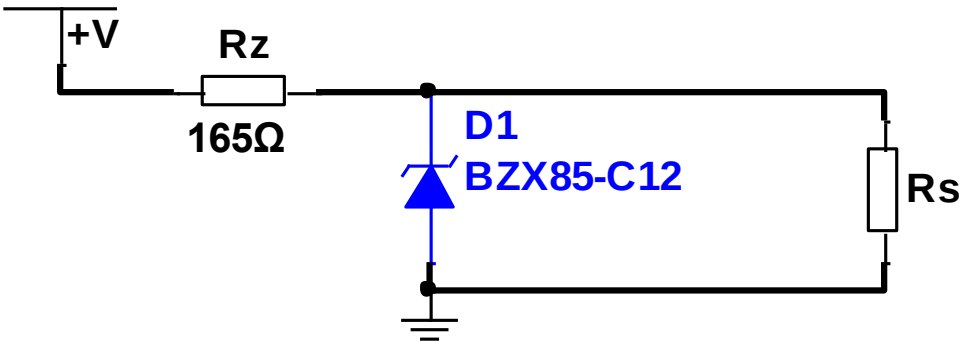


Figura 4.17 Stabilizator de tensiune parametric cu diodă Zener

CAPITOLUL 5. TRANZISTOARE BIPOLARE

5.1. TRANZISTOARE BIPOLARE - GENERALITĂŢI

5.1.1 STRUCTURA ŞI SIMBOLUL TRANZISTORULUI BIPOLAR

Tranzistorul bipolar – este un dispozitiv electronic realizat din material semiconductor, format din trei regiuni (EMITOR, BAZĂ, COLECTOR) separate prin două joncţiuni *pn*.

În funcţie de tipul regiunilor, tranzistoarele bipolare se împart în două categorii:

NPN şi PNP

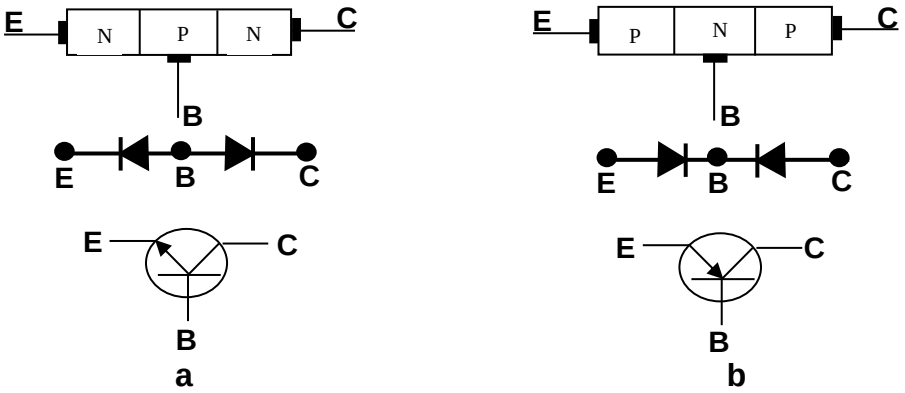


Figura 5.1 Structura şi simbolul tranzistorului bipolar

a - tranzistor NPN ; b – tranzistor PNP

Tranzistorul de tip NPN este format din două regiuni N separate de o regiune P.

Tranzistorul de tip PNP este format din două regiuni P separate de o regiune N.

Regiunea bazei este mai subţire şi mai slab dopată în comparaţie cu regiunea emitorului(puternic dopată) şi cu regiunea colectorului(dopată moderat).

Între două regiuni învecinate se formează o joncţiune. Între bază şi emitor este *joncţiunea bază-emitor*, iar între bază şi colector este *joncţiunea bază-colector.*

Fiecare regiune are ataşată câte un terminal care se notează cu E(emitor) , B(bază), C(colector).

În structura tranzistorului bipolar, purtătorii de sarcină electrică sunt atât golurile cât şi electronii. Deoarece conducţia este realizată de două tipuri de purtători, tranzistorul se numeşte bipolar.

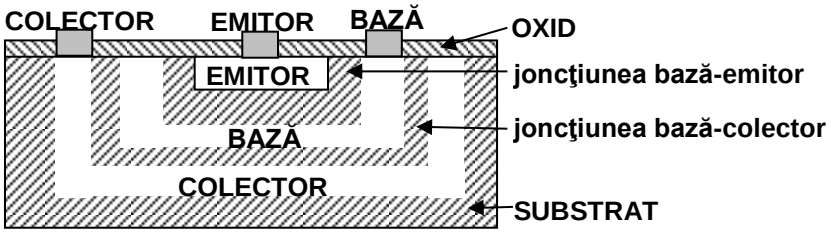


Figura 5.2 Secţiunea de principiu printr-un tranzistor

5.1.2 ÎNCAPSULAREA TRANZISTOARELOR. IDENTIFICAREA TERMINALELOR.

a. Încapsularea tranzistoarelor

Tranzistoarele, în funcţie de destinaţia lor se realizează într-o gamă largă de capsule. Tranzistoarele pot avea capsule din *metal* sau *material plastic*, care au dimensiuni mai mici sau mai mari în funcţie de destinaţia care o au.

În funcţie de destinaţia lor tranzistoarele se împart în 3 mari categorii:

- ***tranzistoare de semnal mic*** – se utilizează la frecvenţe joase (sub 100 kHz) şi curenţi mici (sub 1 A);

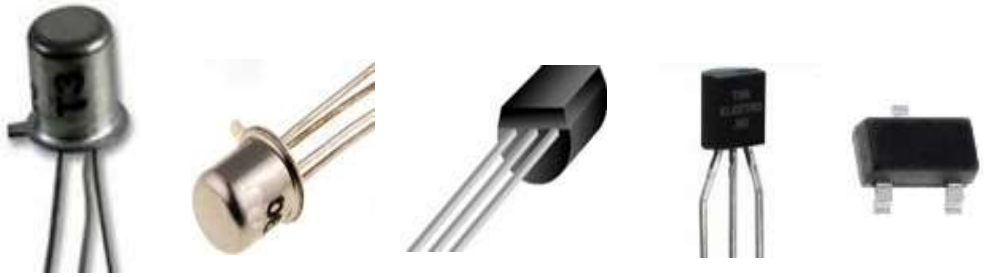


Figura 5.3 Capsule de tranzistoare de semnal mic (uz general)

- ***tranzistoare de putere*** – se utilizează la curenţi mari (peste 1 A);

Figura 5.4 Capsule de tranzistoare de putere

- ***tranzistoare de radio-frecvenţă*** (RF) – se utilizează la frecvenţe foarte înalte.

Figura 5.5 Capsule de tranzistoare de radio-frecvenţă

b. Identificarea terminalelor tranzistoarelor bipolare.

Identificarea terminalelor în funcţie de tipul capsulei

• ***tranzistoare de uz general în capsulă metalică*** – la majoritatea tranzistoarelor din această categorie Emitorul este terminalul de lângă cheiţă, Colectorul este în partea opusă iar Baza este la mijloc. Terminalele sunt dispuse sub forma unui triunghi echilateral.

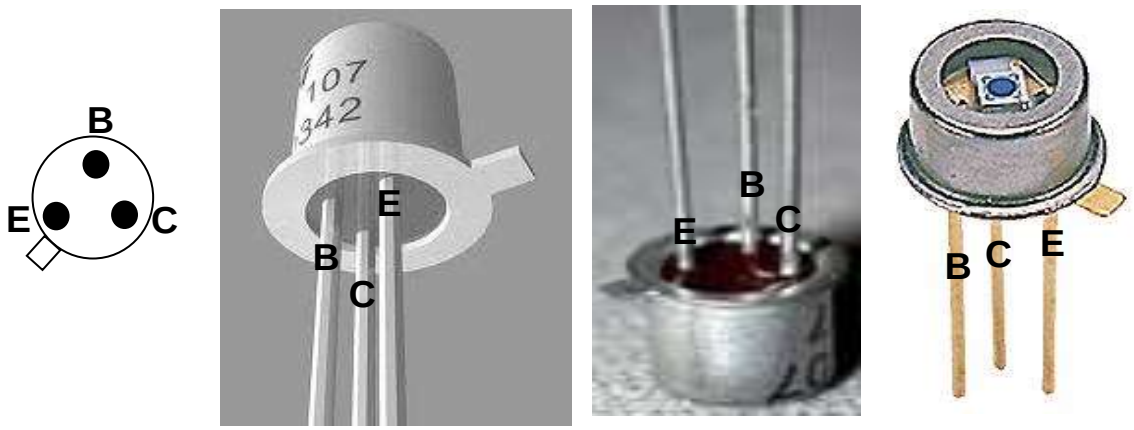


Figura 5.6 Dispunerea terminalelor la tranzistoarele în capsulă metalică

• ***tranzistoare de uz general în capsulă din material plastic*** – la tranzistoarele din această categorie terminalele sunt dispuse liniar cu baza în mijloc. La majoritatea, terminalele sunt dispuse ca în **figura 5.7**, dar sunt si familii de tranzistoare din această categorie la care Emitorul şi Colectorul sunt dispuse invers faţă de cum sunt prezentate în **figura 5.7**.

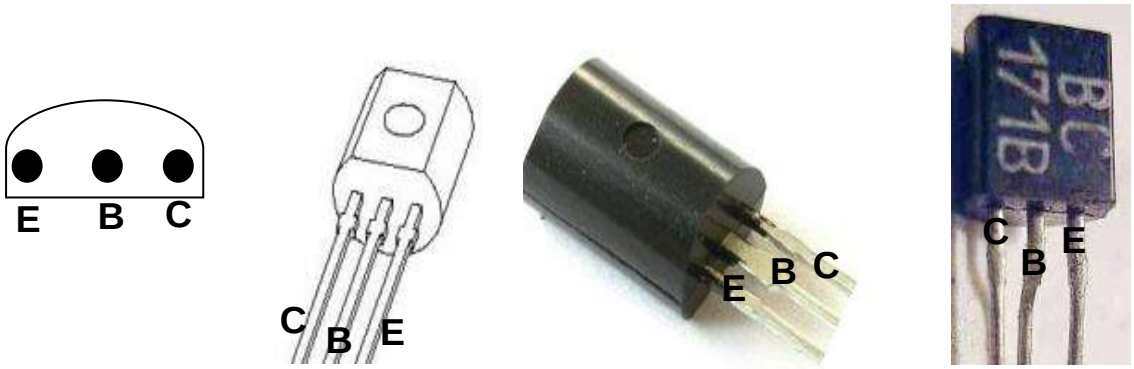


Figura 5.7 Dispunerea terminalelor la tranzistoarele în capsulă din plastic

• ***tranzistoare de putere*** – la tranzistoarele din această categorie Colectorul este conectat la partea metalică a tranzistorului. La majoritatea tranzistoarelor din această categorie terminalele sunt dispuse liniar iar Colectorul este la mijloc. La tranzistoarele care au numai 2 terminale (vezi 2N3055), Colectorul este corpul metalic al tranzistorului.

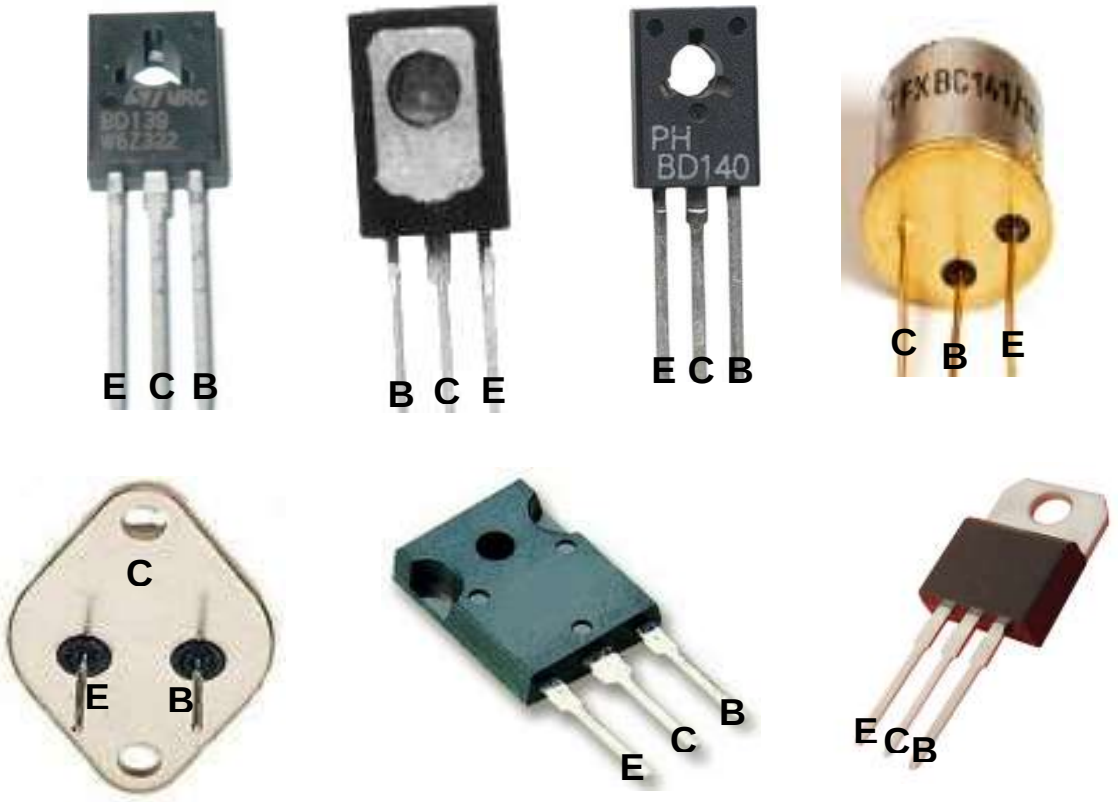


Figura 5.8 Dispunerea terminalelor la tranzistoarele de putere

OBSERVAŢIE IMPORTANTĂ!

La unele familii de tranzistoare terminalele pot fi dispuse altfel decât sunt prezentate în figurile de mai sus chiar dacă capsulele sunt identice. Metoda cea mai sigură de identificare a terminalelor este măsurarea rezistenţei electrice între terminalele tranzistorului, metodă ce va fi prezentată în cele ce urmează.

LUCRARE DE LABORATOR

IDENTIFICAREA TERMINALELOR UNUI TRANZISTOR BIPOLAR PRIN MĂSURAREA REZISTENŢEI ELECTRICE A JONCȚIUNILOR.

- **OBIECTIVE:**
  - Verificarea tranzistorului bipolar;
  - Identificarea terminalelor tranzistorului bipolar cu multimetru digital.
- **RESURSE:**
  - Multimetru digital;
  - Tranzistoare bipolare **BC 546** și **BC 547**.
- **DESFĂȘURAREA LUCRĂRII:**

Pentru identificarea terminalelor tranzistorului prin această metodă se parcurg 3 etape:

- ***în prima etapă se identifică baza tranzistorului***:

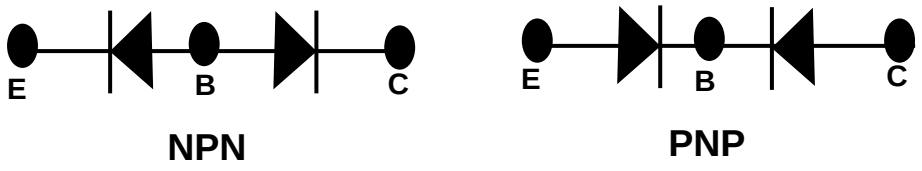


Figura 5.9 Structura tranzistoarele bipolare cu diode

Din structura tranzistoarelor cu diode se observă că rezistenţele electrice între bază şi celelalte două terminale ale tranzistorului trebuie să fie egale, într-un sens au valoare mică iar în sens opus au valoare foarte mare. Prin cele două sensuri se înţelege modul de plasare a tastelor multimetrului faţă de terminalele tranzistorului (într-un sens se plasează cu borna plus pe bază iar în celălalt sens se plasează cu borna minus pe bază).

Se fixează comutatorul unui multimetru digital pe poziţia Ω (pentru măsurarea rezistenţei electrice).

Se plasează o tastă a multimetrului pe unul din terminalele tranzistorului iar cu cealaltă tastă se măsoară rezistenţele electrice faţă de celelalte două terminale. Dacă rezistenţele electrice sunt aproximativ egale (într-un sens rezistenţe mici iar în celălalt sens rezistenţe foarte mari) tasta multimetrului este plasată pe baza tranzistorului.

Figura 5.10 Identificarea BAZEI tranzistorului bipolar

- ***în a doua etapă se identifică tipul tranzistorului***:

Se plasează o tastă a multimetrului pe bază şi cealaltă tastă pe unul din celelalte două terminale ale tranzistorului în sensul în care multimetrul indică rezistenţă mică.

Dacă pe BAZĂ este tasta COM (**MINUS**) tranzistorul este de tip P**N**P

Dacă pe BAZĂ este tasta **PLUS** tranzistorul este de tip N**P**N

Deoarece BAZA este în mijloc, se pune în mijloc litera corespunzătoare polarităţii care este pe bază (N pentru MINUS şi P pentru PLUS) iar pe margini literele corespunzătoare celeilalte polarităţi (doi de P sau doi de N) şi astfel se obţine PNP sau NPN.

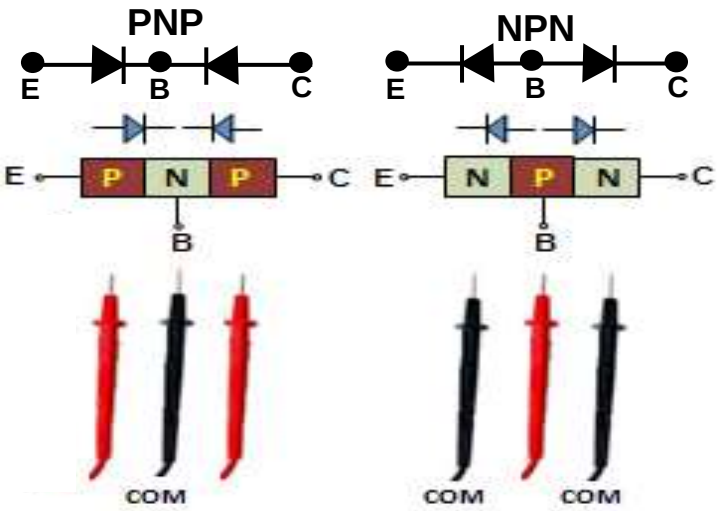


Figura 5.11 Identificarea tipului de tranzistor (PNP sau NPN)

- ***în a treia etapă se identifică Emitorul şi Colectorul***:

Rezistenţa electrică dintre Bază şi Emitor este întotdeauna mai MARE decât rezistenţa electrică dintre Bază şi Colector.

Se plasează o tastă a multimetrului pe bază iar cu cealaltă tastă se măsoară şi se notează valoarea rezistenţelor faţă de celelalte două terminale. Terminalul faţă de care rezistenţa este mai mare va fi Emitorul tranzistorului iar celălalt Colectorul tranzistorului.

Rezistenţa BAZĂ-EMITOR este mai MARE decât rezistenţa BAZĂ-COLECTOR.

La tranzistorul BC 547 de tip NPN:

R_{BE} = 5,32 MΩ

R_{BC} = 5,17 MΩ

$R_{BE} > R_{BC}$

Figura 5.12 Identificarea EMITORULUI şi COLECTORULUI

5.1.3 FUNCŢIONAREA TRANZISTORULUI BIPOLAR

Un tranzistor bipolar funcţionează corect, dacă joncţiunea bază-emitor este polarizată direct cu o tensiune mai mare decât tensiunea de prag, iar joncţiunea bază-colector este polarizată invers cu o tensiune mult mai mare decât tensiunea bază-emitor.

Emitorul este sursa de purtători care determină curentul prin tranzistor, iar colectorul colectează purtătorii ajunşi aici. Baza controlează curentul prin tranzistor în funcţie de valoarea tensiunii de polarizare a joncţiunii bază-emitor.

Joncţiunea emitor-bază (polarizată direct) injectează un curent de emitor I_E care este colectat în cea mai mare parte de joncţiunea colector-bază (polarizată invers), acest proces definind efectul de tranzistor.

Tranzistorul bipolar transferă curentul din circuitul de intrare de rezistenţă mică, în circuitul de ieşire de rezistenţă mare, de unde denumirea TRANsfer reZISTOR ⇔ TRANZISTOR.

a. Funcţionarea tranzistorului NPN.

La acest tip de tranzistor purtătorii majoritari sunt electronii.

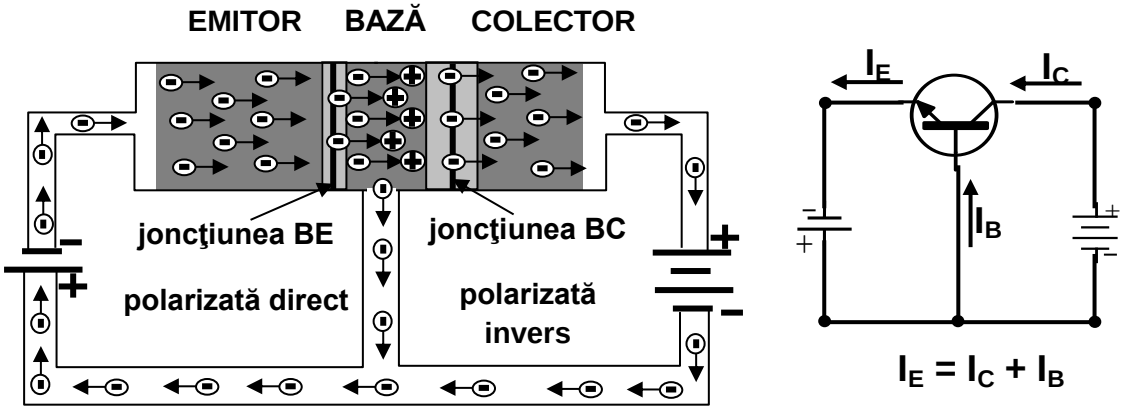


Figura 5.13 Prezentarea funcţionării tranzistorului NPN

Regiunea de tip n a emitorului este puternic dopată cu electroni liberi. Regiunea de tip p a bazei este foarte subţire şi slab dopată cu goluri. Prin polarizarea directă a joncţiunii BE electronii din regiunea emitorului difuzează cu uşurinţă prin joncţiunea BE către regiunea bazei. Aici un procent foarte mic de electroni se combina cu golurile din bază şi formează curentul de bază. Prin polarizarea inversă a joncţiunii BC majoritatea electronilor difuzează prin joncţiunea BC şi sunt atraşi către regiunea colectorului de către tensiunea de alimentare a colectorului, formându-se astfel curentul de colector.

b. Funcţionarea tranzistorului PNP.

La acest tip de tranzistor purtătorii majoritari sunt golurile.

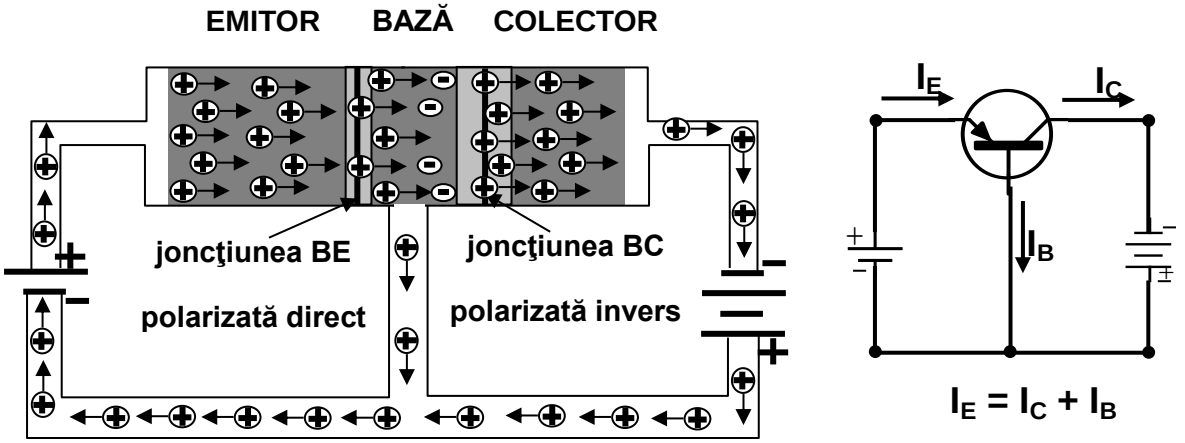


Figura 5.14 Prezentarea funcţionării tranzistorului PNP

Regiunea de tip p a emitorului este puternic dopată cu goluri. Regiunea de tip n a bazei este foarte subţire şi slab dopată cu electroni. Prin polarizarea directă a joncţiunii BE golurile din regiunea emitorului difuzează cu uşurinţă prin joncţiunea BE către regiunea bazei. Aici un procent foarte mic de goluri se combina cu electronii din bază şi formează curentul de bază. Prin polarizarea inversă a joncţiunii BC majoritatea golurilor difuzează prin joncţiunea BC şi sunt atraşi către regiunea colectorului de către tensiunea de alimentare a colectorului, formându-se astfel curentul de colector.

5.1.4 PARAMETRII ŞI CARACTERISTICILE TRANZISTORULUI BIPOLAR

a. Parametrii tranzistorului bipolar

a1. Factorul de amplificare al tranzistorului

Factorul de amplificare în curent din bază în colector (β_{cc}) – reprezintă raportul dintre curentul continuu prin colector (I_C) şi curentul continuu prin bază (I_B)

$$\beta_{CC} = \frac{I_C}{I_B} \quad (1)$$

β este o mărime statică de curent continuu, care indică de câte ori este mai mare curentul prin colectorul tranzistorului decât curentul prin baza tranzistorului. Acest parametru mai poartă denumirea de câştig în curent al tranzistorului.

Valoarea acestui parametru este menţionat de către producător în foile de catalog, ca parametru echivalent hibrid h_{FE}

$$h_{FE} = \beta_{CC} \quad (2)$$

Valorile parametrului β sunt cuprinse între 10 şi 1000, în funcţie de tipul tranzistorului.

Factorul de amplificare în curent din emitor în colector (α_{cc}) – reprezintă raportul dintre curentul continuu prin colector (I_C) şi curentul continuu prin emitor (I_E)

$$\alpha_{CC} = \frac{I_C}{I_E} \quad (3)$$

Acest parametru este întotdeauna subunitar deoarece curentul de colector (I_C) este întotdeauna mai mic decât curentul de emitor (I_E) .

Valorile paramentului α sunt cuprinse între 0,95 şi 0,99 în funcţie de tipul tranzistorului. Între parametrii β şi α sunt următoarele relaţii:

$$\beta_{CC} = \frac{\alpha_{CC}}{1-\alpha_{CC}} \quad (4) \qquad \alpha_{CC} = \frac{\beta_{CC}}{1+\beta_{CC}} \quad (5)$$

a2. Valorile maxime absolute

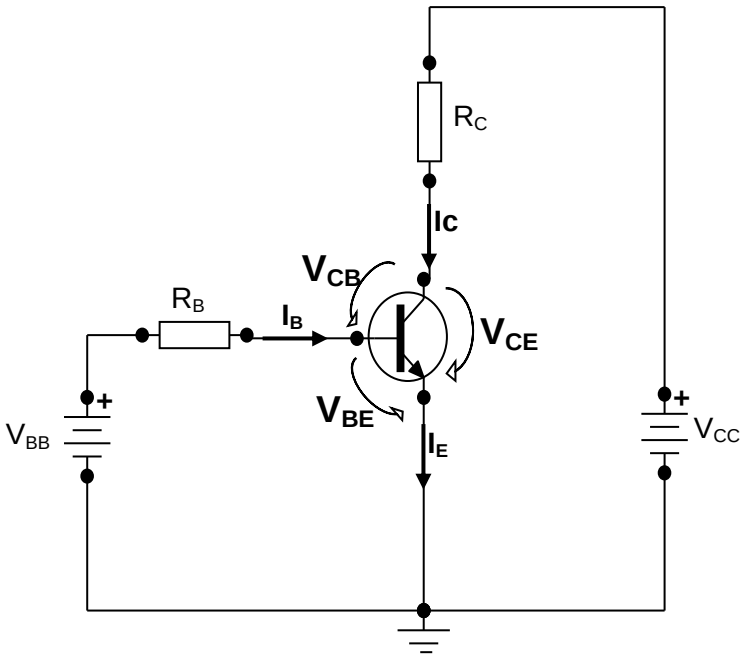
Sunt valori care nu trebuie depăşite în timpul funcţionării tranzistorului, deoarece pot produce defectarea acestuia. De regulă în această grupă apar:

- Tensiunile maxime între terminale: V_{CBO}, V_{CEO}, V_{EBO};
- Curentul maxim de colector şi de bază: I_{CM}, I_{BM};
- Puterea maximă disipată: P_{tot};
- Temperatura maximă a joncţiunii: T_{jM} (este cuprinsă între 175°C şi 200°C).

În practică se recomandă încărcarea tranzistorului la cel mult 0,75 din valorile de catalog ale acestor parametrii.

b. Caracteristicile tranzistorului bipolar.

b1. Caracteristicile electrice



I_B – curentul continuu de bază

I_C – curentul continuu de colector

I_E – curentul continuu de emitor

V_{CB} – tensiunea colector-bază

V_{BE} – tensiunea bază-emitor

V_{CE} – tensiunea colector-emitor

V_{BB} – sursă de tensiune continuă care polarizează direct joncţiunea bază - emitor

Figura 5.1.15 Curenţii şi tensiunile tranzistorului

$$V_{BE} = 0,7V \quad (1)$$

$$I_B = \frac{V_{R_B}}{R_B} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \quad (2)$$

$$I_C = \beta_{CC} \cdot I_B \quad (3)$$

$$I_E = I_C + I_B \quad (4)$$

$$V_{CE} = V_{CC} - V_{R_C} = V_{CC} - I_C \cdot R_C \quad (5)$$

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} \quad (6)$$

V_E , V_B , V_C - reprezintă tensiunile pe terminalele tranzistorului. Aceste tensiuni se măsoară între terminalul respectiv și ”masa” montajului.

b2. Caracteristicile statice

Aceste caracteristici sunt grafice ce reprezintă dependenţa dintre curenţii ce trec prin terminalele tranzistorului şi tensiunile ce se aplică la aceste terminale. Fiecare schemă de conectare a unui tranzistor se caracterizează prin patru familii de caracteristici:

- $I_{IEŞ} = f(U_{IEŞ})$ la I_{INT} = constant – caracteristici de ieşire;
- $U_{INT} = f(I_{INT})$ la $U_{IEŞ}$ = constant – caracteristici de intrare;
- $I_{IEŞ} = f(I_{INT})$ la $U_{IEŞ}$ = constant – caracteristici de transfer a curentului;
- $U_{INT} = f(U_{IEŞ})$ la I_{INT} = constant – caracteristici de reacţie inversă după tensiune.

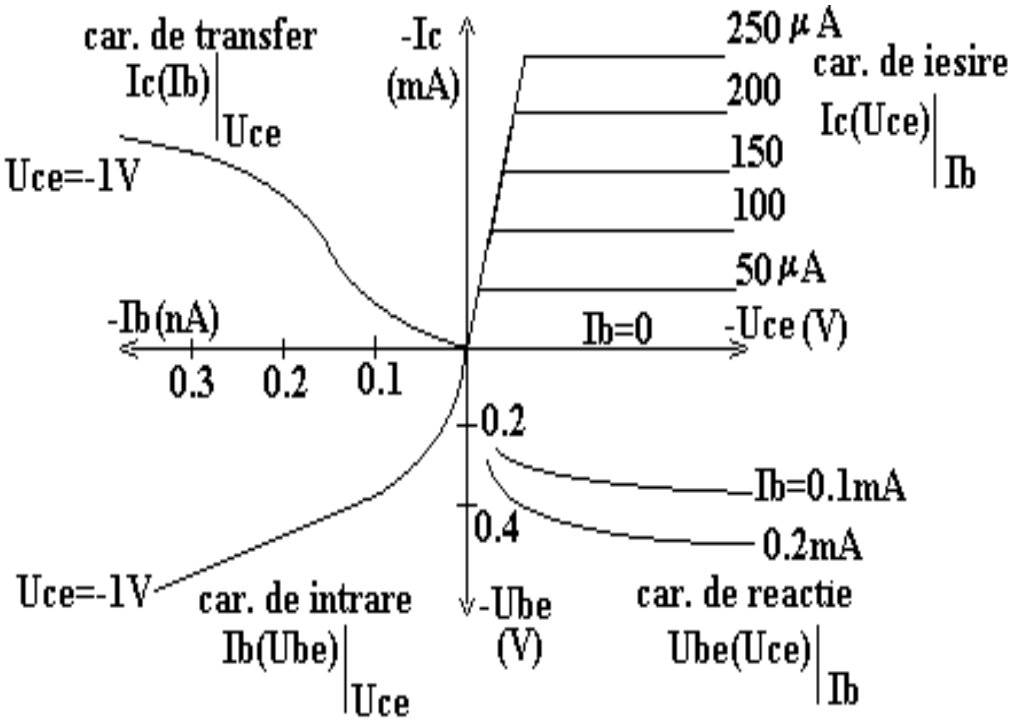


Figura 5.16 Caracteristicile statice ale tranzistorului bipolar în conexiunea EC

În cataloagele de tranzistoare sunt prezentate caracteristica de intrare şi caracteristica de ieşire, deoarece aceste caracteristici sunt mai importante. Pe caracteristica de ieşire se pot delimita regiunile de funcţionare a tranzistorului şi se poate trasa dreapta de sarcină.

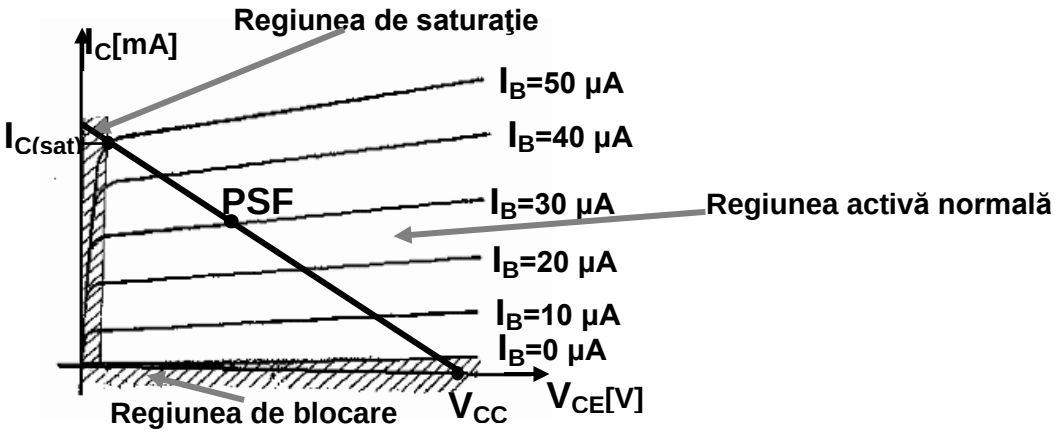


Figura 5.17 Caracteristica de ieşire a tranzistorului bipolar în conexiunea EC

În regiunea de blocare tranzistorul funcţionează în regim de blocare (tăiere):

- joncţiunea bază – emitor este polarizată invers (sau direct cu o tensiune mai mică decât tensiunea de prag);
- joncţiunea bază – colector este polarizată invers;
- curenţii prin tranzistor sunt foarte mici, practic I_C=0;
- tensiunea de ieşire are valoare mare, practic $V_{CE} = V_{CC}$;
- tranzistorul se comportă ca un întrerupător deschis.

În regiunea de saturaţie tranzistorul funcţionează în regim de saturaţie:

- joncţiunea bază – emitor este polarizată direct;
- joncţiunea bază – colector este polarizată direct;
- curentul de saturaţie este mai mare decât în regim activ normal $I_{C(sat)} > \beta \cdot I_B$;
- tensiunea de saturaţie este forte mică $V_{CE(sat)}$ = 0,2 – 0,3 V;
- tranzistorul se comportă ca un întrerupător închis.

În regiunea activă normală tranzistorul funcţionează în regim activ normal (RAN):

- joncţiunea bază – emitor este polarizată direct;
- joncţiunea bază – colector este polarizată invers;
- curentul prin tranzistor este mare $I_C = \beta \cdot I_B$;
- tensiunea de ieşire (V_{CE}) este mică;
- tranzistorul se comportă ca un amplificator de semnal.

Pe graficul caracteristicii de ieşire (**figura 5.17**) dacă se uneşte punctul de blocare (V_{CC}) cu punctul de saturaţie ($I_{C(sat)}$) se obţine dreapta de sarcină în curent continuu. De-a lungul dreptei de sarcină între cele două puncte se află regiunea activă normală de funcţionare a tranzistorului. La intersecţia unei caracteristici de ieşire cu dreapta de sarcină se află punctul static de funcţionare (PSF).

5.1.5 FUNCŢIILE TRANZISTORULUI BIPOLAR.

Din graficul caracteristicii de ieşire a tranzistorului se observă că tranzistorul bipolar are două funcţii importante:

- Funcţia de amplificare – când tranzistorul funcţionează în regim activ normal;
- Funcţia de comutare – când tranzistorul funcţionează în regim de blocare şi în regim de saturaţie.

a. FUNCŢIA DE AMPLIFICARE.

Când tranzistorul este polarizat astfel încât să lucreze în regiunea activă, acesta poate amplifica atât un semnal de formă continuă cât şi un semnal de formă alternativă.

În circuitul de curent continuu tranzistorul amplifică curentul din bază (**figura 5.18 a**)

$$I_C = \beta_{CC} \cdot I_B \quad (1)$$

În circuitul echivalent de curent alternativ tranzistorul amplifică tensiunea alternativă din bază (**figura 5.18 b**)

$$A_V = \frac{V_C}{V_B} \quad (2)$$

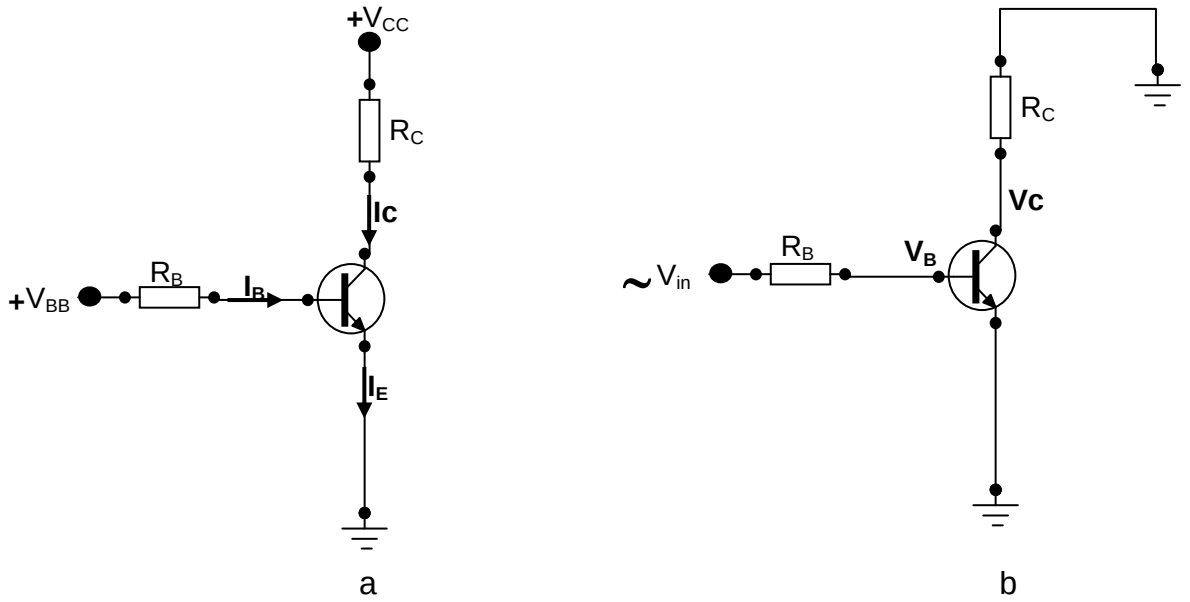


Figura 5.18 Funcţia de amplificare a tranzistorului bipolar în conexiunea EC

b. FUNCŢIA DE COMUTARE.

Tranzistorul bipolar când lucrează în regim de comutaţie, trece alternativ din starea de blocare în starea de saturaţie.

În starea de blocare, când joncţiunea bază-emitor nu este polarizată direct, tranzistorul se comportă ca un întrerupător deschis şi prin el nu circulă curent (**figura 5.19 a**)

În această situaţie tensiunea colector-emitor este maximă:

$$V_{CE(blocare)} = V_{CC} \quad (3)$$ - condiția de blocare

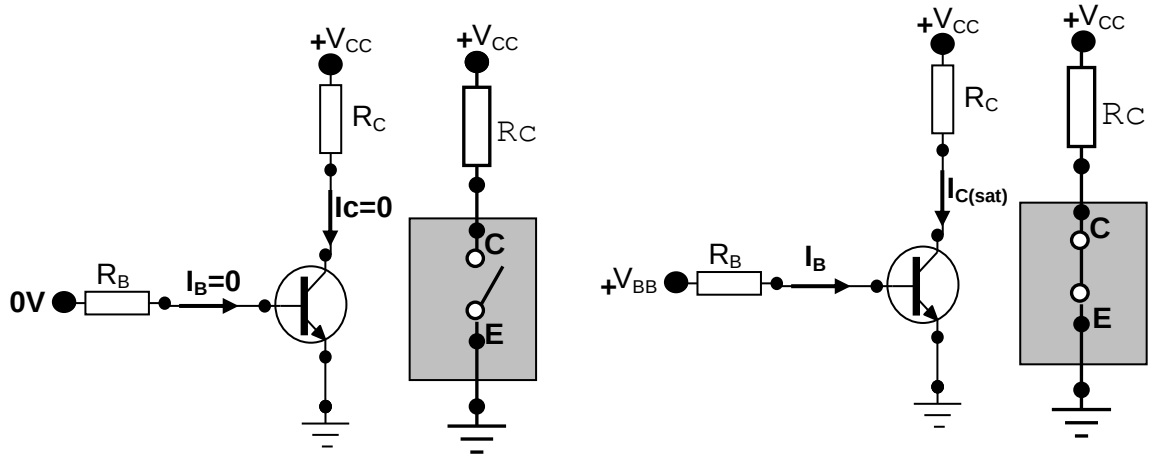
În starea de saturaţie, când joncţiunea bază-emitor este polarizată direct, tranzistorul se comportă ca un întrerupător închis şi prin el circulă un curent (**figura 5.19 b**)

Valoarea curentului care circulă de la colector spre emitor este:

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} \quad (4) \quad V_{CE(sat)} \approx 0$$

Valoarea minimă a curentului de bază pentru a aduce tranzistorul în saturaţie este:

$$I_{B(\min)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta_{CC}} \quad (5)$$



(a) Blocare – întrerupător deschis (b) Saturaţie – întrerupător închis

Figura 5.19 Funcţia de comutare a tranzistorului bipolar în conexiunea EC

SIMULARE CU AJUTORUL CALCULATORULUI

CARACTERISTICA STATICĂ DE IEȘIRE A TRANZISTORULUI BIPOLAR

- **OBIECTIVE:**
  - Trasarea caracteristicii statice de ieșire în funcție de valorile măsurate în circuitul simulat;
  - Analiza comportamentului tranzistorului bipolar pe baza caracteristicii statice de ieșire.
- **RESURSE:**
  - Calculator;
  - Program de simulare scheme electronice.
- **DESFĂȘURAREA LUCRĂRII:**

1. Se realizează cu simulatorul schema din **figura 5.20**;

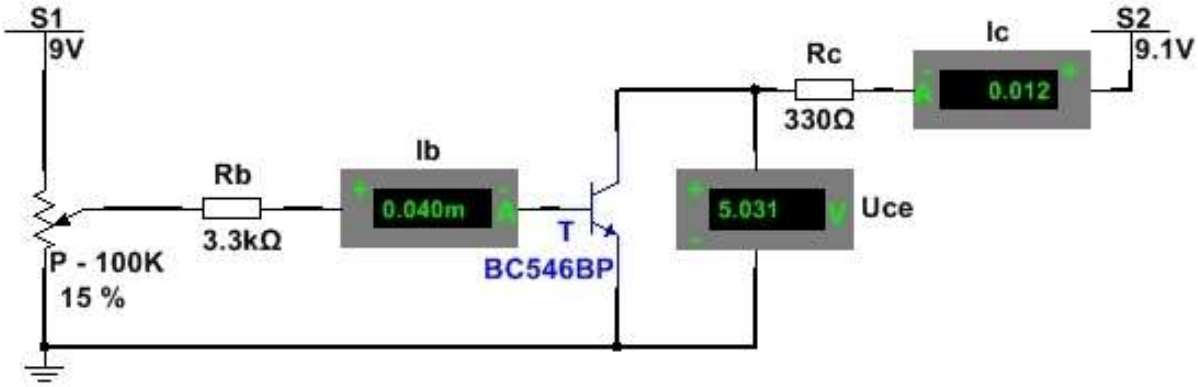


Figura 5.20 Schemă pentru determinarea caracteristicii statice de ieșire a TB

2. Se reglează sursa **S1** la valoarea de 9 V, valoare care se menține constantă;

3. Se reglează potențiometrul **P** astfel încât curentul I_B **= 20 μA**;

4. Se reglează sursa **S2** (și dacă este cazul și potențiometrul **P**) astfel încât să se stabilească valorile U_{CE} indicate în **tabelul 5.1**;

5. Se reglează potențiometrul **P** astfel încât curentul I_B **= 40 μA**;

6. Se reglează sursa **S2** (și dacă este cazul și potențiometrul **P**) astfel încât să se stabilească valorile U_{CE} indicate în **tabelul 5.1**;

7. Se reglează potențiometrul **P** astfel încât curentul I_B **= 60 μA**;

8. Se reglează sursa **S2** (și dacă este cazul și potențiometrul **P**) astfel încât să se stabilească valorile U_{CE} indicate în **tabelul 5.1**; **TABELUL 5.1**

I_B[μA]	U_{CE}[V]	0	0,1	0,3	0,5	1	3	5
20	I_C[mA]							
40	I_C[mA]							
60	I_C[mA]							

9. Punctele de coordonate $\mathbf{I_C}$ și $\mathbf{U_{CE}}$ se reprezintă în sistemul de axe de coordonate din **figura 5.21**;

10. Se unesc punctele reprezentate pentru fiecare valoare a curentului de bază $\mathbf{I_B}$ obținându-se caracteristicile statice de ieșire a tranzistorului bipolar $\mathbf{I_C = f(U_{CE}) \mid I_B = ct}$

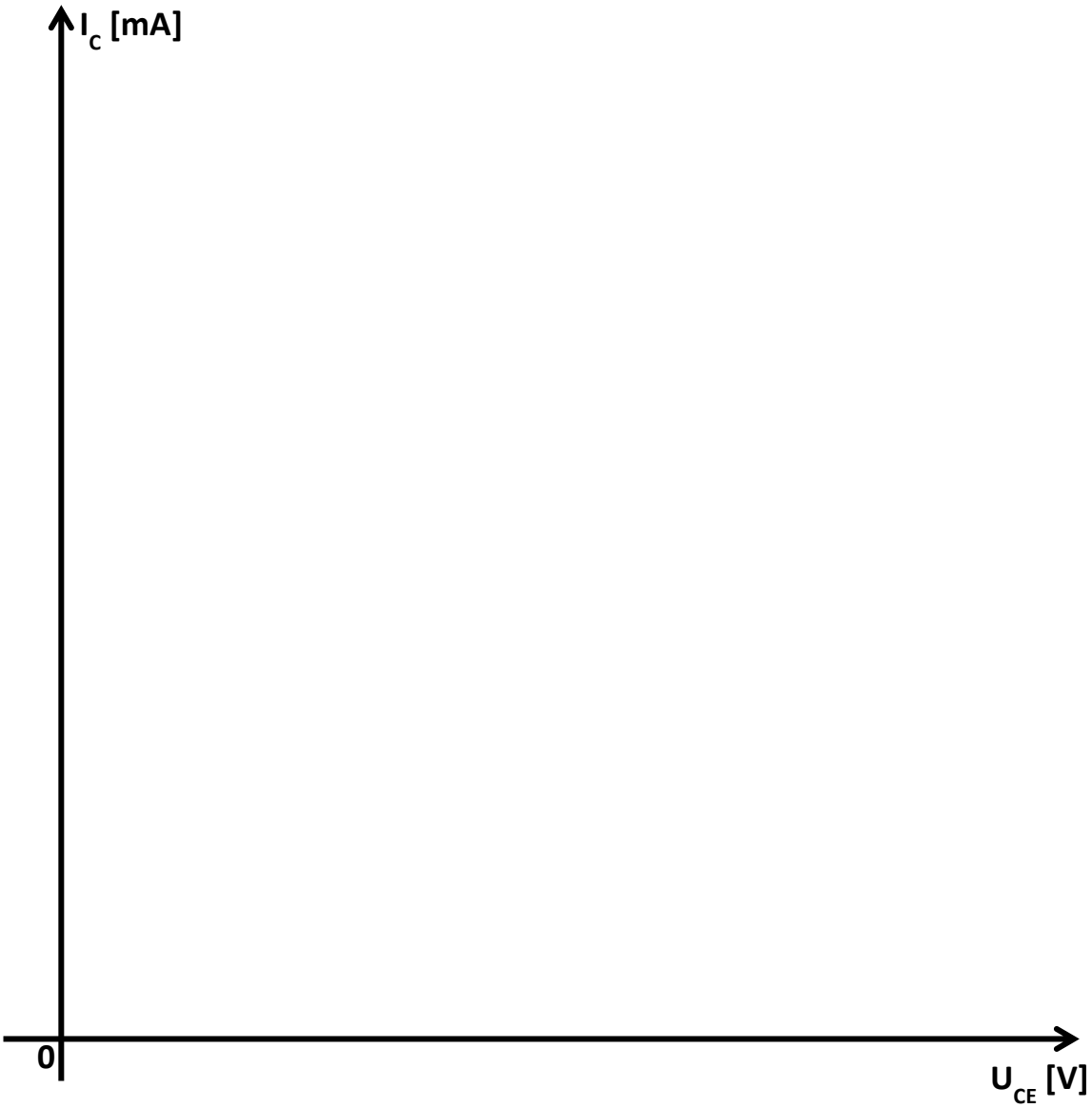


Figura 5.21 Graficul caracteristicilor statice de ieșire a tranzistorului bipolar

RECOMAND REALIZAREA ACESTEI LUCRĂRI PRACTIC ȘI COMPARAREA REZULTATELOR OBȚINUTE PE SIMULATOR CU CELE OBȚINUTE PRACTIC.

5.2 CONEXIUNILE TRANZISTOARELOR BIPOLARE

Conexiunile TB reprezintă modurile de conectare a unui tranzistor într-un circuit. Tranzistorul poate fi conectat în circuit în 3 configuraţii de bază:

- Conexiunea emitor comun;
- Conexiunea bază comună;
- Conexiunea colector comun.

O conexiune are o poartă de intrare şi o poartă de ieşire.

Fiecare poartă este prevăzută cu câte două terminale (borne).

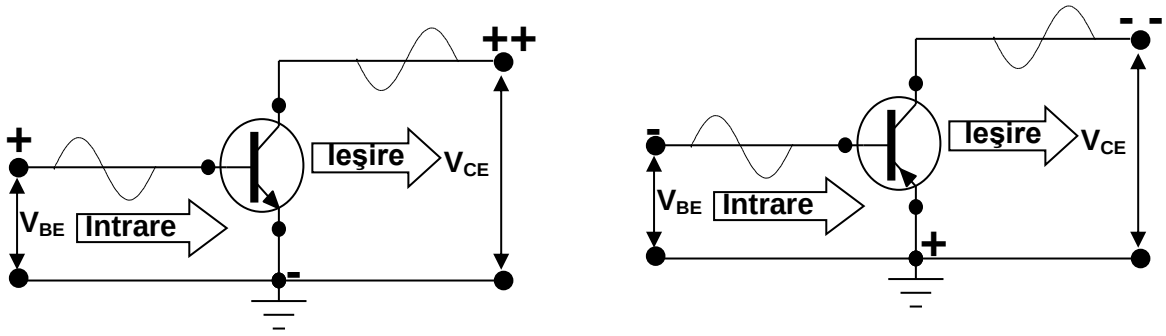
Prin termenul **"comun"** se defineşte terminalul care este comun atât intrării cât şi ieşirii.

Acest terminal se conectează la "masa" montajului.

Pentru a identifica tipul conexiunii se procedează astfel:

- se identifică terminalul pe care se aplică semnalul de intrare;
- se identifică terminalul de pe care se culege semnalul de ieşire;
- terminalul rămas este cel comun, care dă numele conexiunii.

5.2.1 CONEXIUNEA EMITOR COMUN



a. Tranzistor NPN **b. Tranzistor PNP**

Figura 5.22 Conexiunea emitor comun

În această conexiune **EMITORUL** este comun intrării şi ieşirii circuitului. Conexiunea este utilizată în circuitele de amplificare în tensiune, curent şi putere. Este cea mai utilizată conexiune, deoarece are cea mai eficientă combinaţie de amplificare în tensiune şi curent.

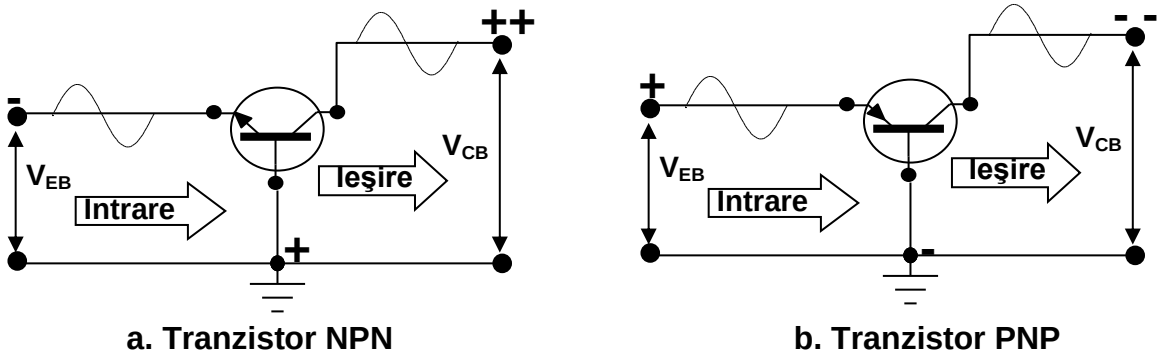
Amplificarea în curent **(β - beta)** este raportul dintre curentul de ieşire şi curentul de intrare.

(1) $h_{FE} = h_{21} = \beta = \dfrac{I_C}{I_B}$ **factorul de amplificare în curent**

Mărimile caracteristice conexiunii emitor comun:

- impedanţa de intrare este medie (500 Ω -1500 Ω);
- impedanţa de ieşire este mare (30 kΩ – 50 kΩ);
- amplificarea în curent mare (10 – 100);
- amplificarea în tensiune mare (peste 100);
- amplificarea în putere foarte mare (până la 10.000);
- semnalul de ieşire este defazat cu 180° faţă de semnalul de intrare.

5.2.2 CONEXIUNEA BAZĂ COMUNĂ



a. Tranzistor NPN **b. Tranzistor PNP**

Figura 5.23 Conexiunea bază comună

În această conexiune **BAZA** este comună intrării şi ieşirii, semnalul de intrare este aplicat pe emitor iar semnalul de ieşire este cules de pe colector. Amplificarea în curent **(α - alfa)** este raportul dintre curentul de ieşire şi curentul de intrare.

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \quad (2)$$

Mărimile caracteristice conexiunii bază comună:

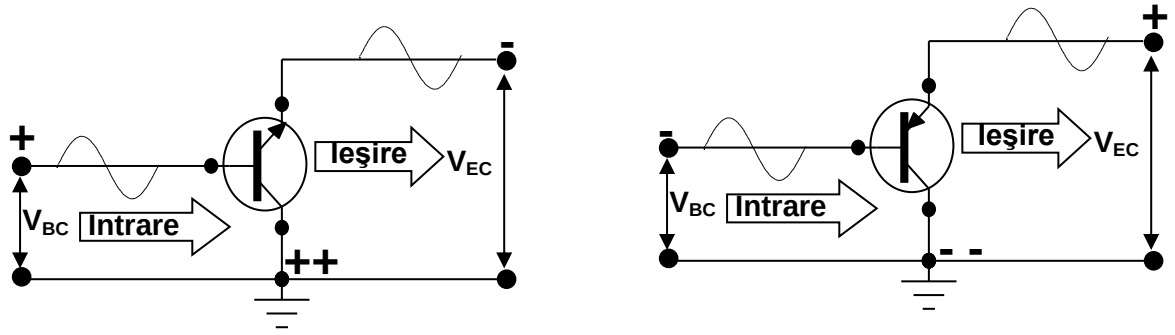
- impedanţa de intrare este mică (30 Ω -160 Ω);
- impedanţa de ieşire este mare (250 kΩ – 550 kΩ);
- amplificarea în curent unitară (1);
- amplificarea în tensiune mare (până la 1000);
- amplificarea în putere mare (până la 1000);
- semnalul de ieşire este în fază cu semnalul de intrare.

Se utilizează în etajele amplificatoare de RF din receptoarele UUS.

Avantaj - lucrează la frecvenţe foarte înalte.

Dezavantaj - rezistenţă de intrare mică.

5.2.3 CONEXIUNEA COLECTOR COMUN



a. Tranzistor NPN **b. Tranzistor PNP**

Figura 5.24 Conexiunea colector comun

În această conexiune **COLECTORUL** este comun intrării şi ieşirii, semnalul de intrare este aplicat pe bază iar semnalul de ieşire este cules de pe emitor.

Conexiunea se mai numeşte şi repetor pe emitor, deoarece tensiunea de ieşire este aproximativ egală cu tensiunea de intrare.

Amplificarea în curent **(γ - gama)** este raportul dintre curentul de ieşire şi curentul de intrare

$$\gamma = \frac{I_E}{I_B} \quad (3)$$

Mărimile caracteristice conexiunii colector comun:

- impedanţa de intrare este mare (2 kΩ - 500 kΩ);
- impedanţa de ieşire este mică (50 Ω – 1500 Ω);
- amplificarea în curent mare (peste 10);
- amplificarea în tensiune unitară (1);
- amplificarea în putere mare (peste 10);
- semnalul de ieşire este în fază cu semnalul de intrare.

Conexiunea colector comun se utilizează când se doreşte o rezistenţă de intrare foarte mare şi o rezistenţă de ieşire mică.

Conexiunea se utilizează în general ca adaptor de impedanţă între impedanţa de ieşire a unui amplificator şi o rezistenţă de sarcină de valoare mică.

5.3. POLARIZAREA TRANZISTOARELOR BIPOLARE

Prin polarizarea unui tranzistor se înţelege, modul de conectare a surselor de alimentare la bornele tranzistorului, astfel încât acesta să funcţioneze ca amplificator. Prin polarizarea corectă a unui tranzistor se urmăreşte stabilirea şi menţinerea valorilor corecte pentru tensiunile şi curenţii din circuit şi determinarea punctului static de funcţionare.

5.3.1 PUNCTUL STATIC DE FUNCŢIONARE (PSF)

În **figura 5.25** se observă că punctul static de funcţionare se află pe dreapta de sarcină, la intersecţia acesteia cu caracteristica statică de ieşire a tranzistorului.

Pentru funcţionarea cât mai corectă a unui amplificator(semnalul de intrare să fie amplificat şi reprodus fidel la ieşire), punctul static de funcţionare trebuie să fie situat cam la jumătatea dreptei de sarcină.

Odată cu deplasarea PSF în regiunea de saturaţie sau în regiunea de blocare, semnalul de ieşire este distorsionat.

Dacă PSF este situat în regiunea de saturaţie sunt distorsionate semialternanţele pozitive ale semnalului alternativ sinusoidal de intrare (**figura 5.26 a**).

Dacă PSF este situat în regiunea de blocare sunt distorsionate semialternanţele negative ale semnalului alternativ sinusoidal de intrare (**figura 5.26 b**).

Coordonatele punctului static de funcţionare (**I_C, V_{CE}**) sunt impuse de valorile tensiunilor surselor de polarizare şi de valorile rezistenţelor din circuitele de polarizare.

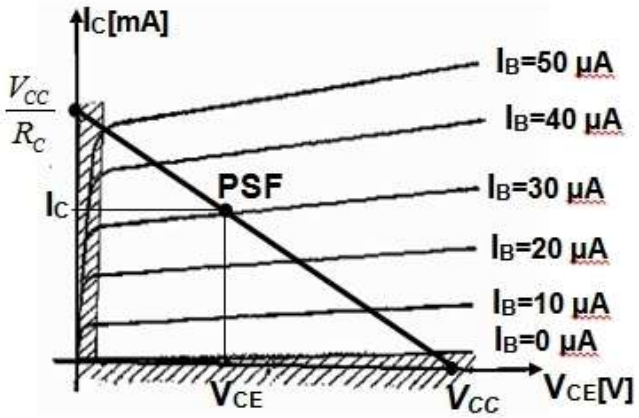


Figura 5.25 Caracteristica pentru determinarea PSF

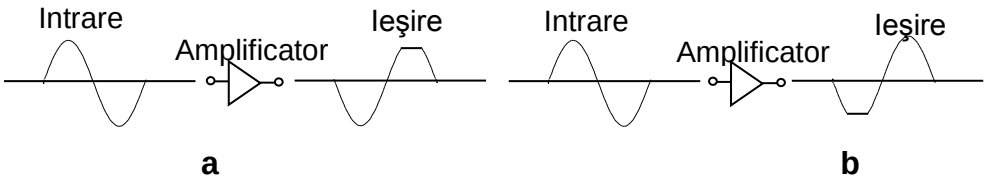


Figura 5.26 Distorsionarea semnalului de ieşire la un amplificator cu TB

Determinarea PSF pentru conexiunea EC.

Se va determina PSF al circuitului din **figura 5.27**.

Pentru tranzistorul BC 546BP se consideră β_{CC} = 200.

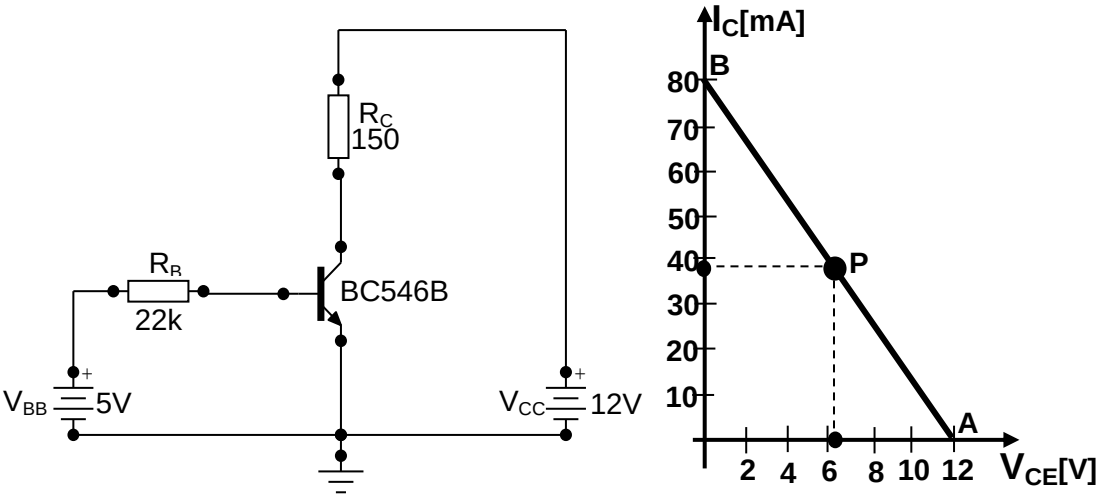


Figura 5.27 Circuit pentru determinarea PSF la un TB în conexiunea EC

Se determină coordonatele dreptei de sarcină, apoi se trasează dreapta

(1) $V_{CC} = R_C \cdot I_C + V_{CE}$

Pentru $I_C = 0 \Rightarrow$ $V_{CE} = V_{CC} = 12$ V $\Rightarrow$ A(12, 0)

Pentru $V_{CE} = 0 \Rightarrow$ $V_{CC} = R_C \cdot I_C \Rightarrow$ $I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} \Rightarrow$ $I_C = \frac{12V}{150\Omega} = 80mA \Rightarrow$ B(0, 80)

Se determină coordonatele punctului static de funcţionare P(I_S, V_{CE})

(2) $$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{5 - 0,7}{22K} \cong 195\mu A$$

(3) $$I_C = I_B \cdot \beta_{CC} = 195\mu A \cdot 200 = 39mA \quad \Rightarrow \quad I_C = 39mA$$

(4) $$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C = 12V - 39mA \cdot 150\Omega \cong 6,2V \Rightarrow \quad V_{CE} = 6,2V$$

Punctul static de funcţionare are coordonatele P(6,2V ; 39mA)

Se determină valoarea maximă a curentului de bază în funcţionare liniară

(5) $$I_{C(vârf)} = I_{C(sat)} - I_{C(PSF)} = 80mA - 39mA = 41mA$$

(6) $$I_{B(vârf)} = \frac{I_{C(vârf)}}{\beta_{CC}} = \frac{41mA}{200} = 205\mu A$$

5.3.2 POLARIZAREA BAZEI DE LA Vcc

Prin această metodă baza tranzistorul se polarizează prin intermediul unei rezistențe **Rb** de la sursa de alimentare **Vcc** (**figura 5.28**). Configurația este instabilă, nu funcționează liniar, de aceea nu se utilizează în practică. Poate fi utilizată la circuitele care lucrează în comutație.

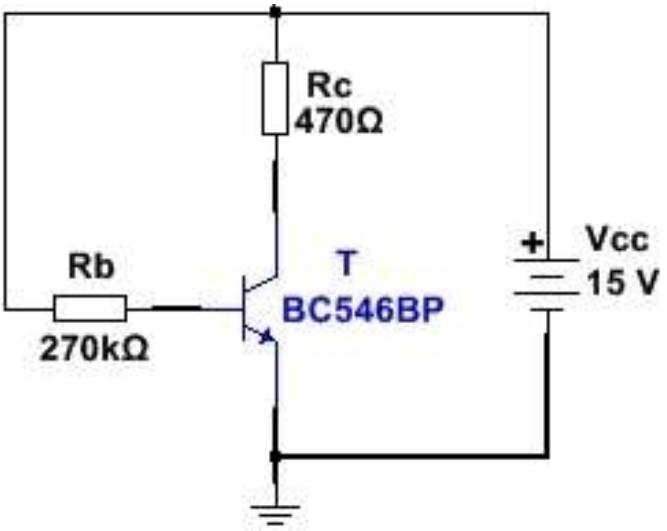


Figura 5.28 Polarizarea tranzistorului bipolar cu un rezistor în bază

Tranzistorul BC546BP are β_{CC} = 300.

Se aplică legea a II-a a lui Kirchhoff pe ochiul ce conține joncțiunea colector-emitor:

$$V_{CC} - V_{CE} - I_C \cdot R_C = 0 \quad (1)$$

Din relația (1) $\Rightarrow \boldsymbol{V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C} \quad (2)$

Căderea de tensiune pe rezistorul **Rb** este: $U_{Rb} = V_{CC} - V_{BE} \quad (3)$

Dar: $U_{Rb} = R_b \cdot I_B \quad (4)$

Înlocuind (4) în (3) se obține relația: $R_b \cdot I_B = V_{CC} - V_{BE} \quad (5)$

Din relația (5) $\Rightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{Rb} \quad (6)$

Știm că $I_C = \beta_{CC} \cdot I_B \quad (7)$

Înlocuind relația (6) în (7) se obține relația: $\boldsymbol{I_C = \beta_{CC} \cdot \left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{Rb}\right)} \quad \mathbf{(8)}$

Din relația (8) se observă că $\mathbf{I_c}$ este dependent de $\boldsymbol{\beta_{CC}}$.

Deoarece $\boldsymbol{\beta_{CC}}$ se modifică cu modificarea temperaturii şi depinde de procesul tehnologic de realizare a tranzistorului, această configurație este instabilă și poate produce distorsiuni la ieșire.

Pentru montajul din **figura 5.28** se determină PSF și se trasează dreapta de sarcină.

$$I_C = \beta_{CC} \cdot \left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{Rb}\right) = 300 \cdot \left(\frac{15V - 0,7V}{270K\Omega}\right) = 300 = 15,8\ mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C\ = 15V - 15,8mA \cdot 470\Omega\ = 7,57\ V$$

Prin calcule s-a obținut: **I_c = 15,8mA** și **V_{CE} = 7,57 V**

Punctul static de funcţionare are coordonatele P(7,5V ; 15,8mA).

Pentru trasarea dreptei de sarcină se determină **$I_{C(sat)}$** și **$V_{CE(blocare)}$.**

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C}\ \ (9)\ \Longrightarrow\ I_{C(sat)} = \frac{15V}{470\Omega} = 31,9mA$$

$$V_{CE(blocare)} = V_{CC}\ (10)\ \ \Rightarrow\ V_{CE(blocare)} = 15\ V$$

În **fig. 5.29** este prezentată dreapta de sarcină și PSF-ul montajului din **fig. 5.28**

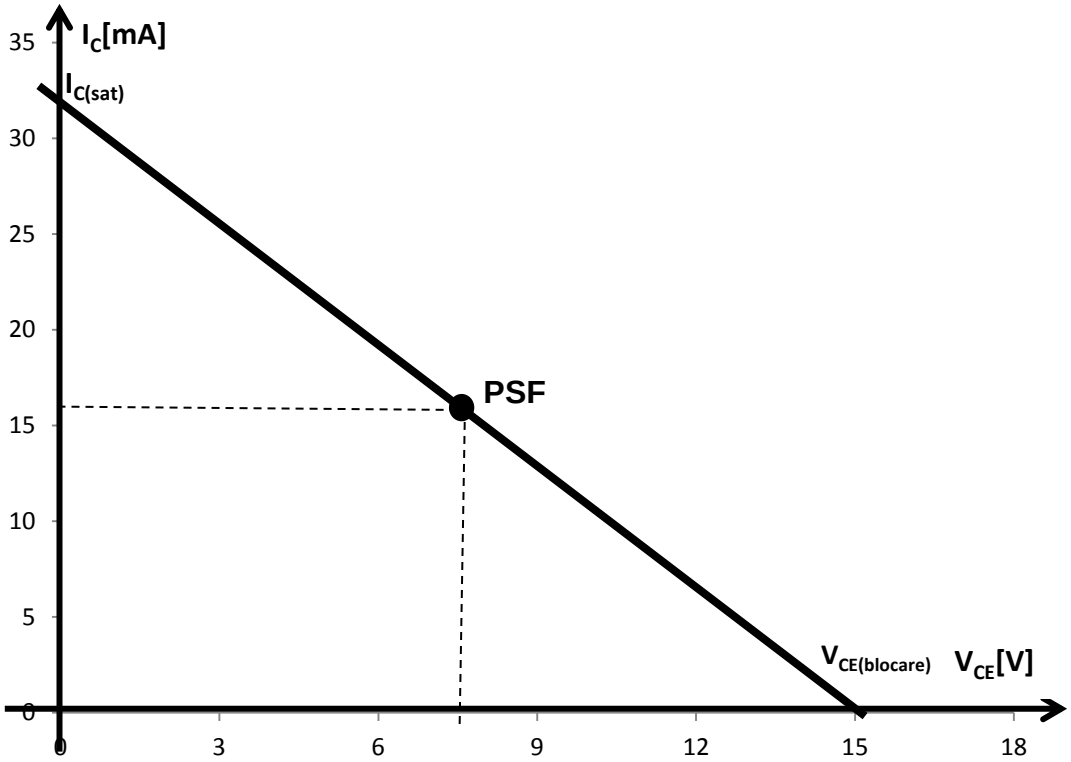


Figura 5.29 Dreapta de sarcină a TB polarizat cu un rezistor în bază

Dacă β_{CC} scade la 100 atunci PSF coboară până aproape de zona de blocare și are coordonatele (12,5V ; 5,2mA). În consecință acest mod de polarizare nu se utilizează unde este necesară o funcționare liniară.

5.3.3 POLARIZAREA CU DIVIZOR REZISTIV

Prin această metodă, tranzistorul se polarizează prin intermediul unui divizor de tensiune rezistiv, de la o singură sursă de alimentare. Rezistenţele divizorului de tensiune înlocuiesc o a doua sursă de alimentare necesară polarizării celor două joncţiuni ale tranzistorului. Această metodă de polarizare se utilizează foarte des în practică deoarece asigură o stabilitate satisfăcătoare utilizând o singură sursă de tensiune.

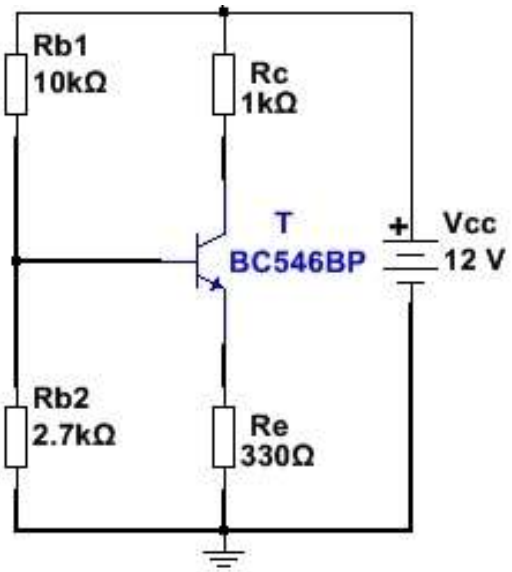


Figura 5.30 Polarizarea tranzistorului bipolar cu divizor rezistiv

Divizorul de tensiune este format din rezistenţele **Rb1** şi **Rb2**

Tensiunea din baza tranzistorului se calculează cu formula:

$$V_B = \left(\frac{Rb2}{Rb1 + Rb2}\right) \cdot V_{CC} \quad \textbf{(1)}$$

Pentru modificarea tensiunii în baza tranzistorului se modifică valorile rezistenţelor divizorului astfel:

- **V_B creşte** dacă **Rb2 creşte** sau **Rb1 scade**
- **V_B scade** dacă **Rb2 scade** sau **Rb1 creşte**

Un circuit de polarizare a tranzistorului trebuie să fie astfel conceput încât să asigure independenţa PSF-ului de parametrul β(factorul de amplificare în curent). Tranzistorul va funcţiona în regiunea activă normală dacă sunt îndeplinite două condiţii de bază:

- $0,5 < V_{CE} < (V_{CC} - 1)$ **(2)**;
- **Rb2 să fie mai mică de cel puţin 10 ori decât** $\beta_{CC} \cdot R_E$.
  $Rb2 \ll \beta_{CC} \cdot R_E$ **(3)** .

Pentru verificarea primei condiţii trebuie determinată valoarea tensiunii $\mathbf{V_{CE}}$ astfel:

- Se calculează $\mathbf{I_C}$

$$V_B = V_{BE} + V_{Re} = 0,7V + Re \cdot I_E \quad \textbf{(4)}$$

$$I_E = \frac{V_B - O,7}{Re} \quad \textbf{(5)}$$

$$\boldsymbol{I_C \cong I_E = \frac{V_B - O,7}{Re}} \quad \textbf{(6)}$$

- Se calculează $\mathbf{V_{CE}}$

$$V_{CC} = V_{Rc} + V_{CE} + V_{Re} = Rc \cdot I_C + V_{CE} + Re \cdot I_C \quad \textbf{(7)}$$

$$\boldsymbol{V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot (Rc + Re)} \quad \textbf{(8)}$$

Pentru schema din **figura 5.30** se obţin următoarele valori:

$$V_B = \left(\frac{Rb2}{Rb1+Rb2)}\right) \cdot V_{CC} = \left(\frac{2,7K\Omega}{10K\Omega+2,7K\Omega}\right) \cdot 12V = 2,55\ V$$

$$I_C = \frac{V_B - 0,7}{Re} = \frac{2,55-0,7}{330} = 0,0056\ A = 5,6\ mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot (Rc + Re) = 12 - 5,6mA(1K\Omega + 330\Omega) = 4,56\ V$$

0,5 V<4,56 V<(12 V-1 V) ⇒ **0,5 V < 4,56 V < 11 V** ⇒ *prima condiție este îndeplinită*.

Se verifică a doua condiție:

$$\beta_{CC} \cdot R_E = 300 \cdot 330\Omega = 99000\ \Omega = 99\ K\Omega$$

Rb2 = 2,7 KΩ ⇒ $\mathbf{2,7K\Omega \ll 99\ K\Omega}$ ⇒ *a doua condiție este îndeplinită*.

Punctul static de funcţionare are coordonatele P(4,56V ; 5,6mA)

Pentru trasarea dreptei de sarcină se determină $\mathbf{I_{C(sat)}}$ și $\mathbf{V_{CE(blocare)}}$.

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{Rc + Re} \quad (9) \Rightarrow I_{C(sat)} = \frac{12V}{1,33K\Omega} = 9\ mA$$

$$V_{CE(blocare)} = V_{CC}\ (10) \Rightarrow V_{CE(blocare)} = 12\ V$$

În **fig. 5.31** este prezentată dreapta de sarcină și PSF-ul montajului din **fig. 5.30**

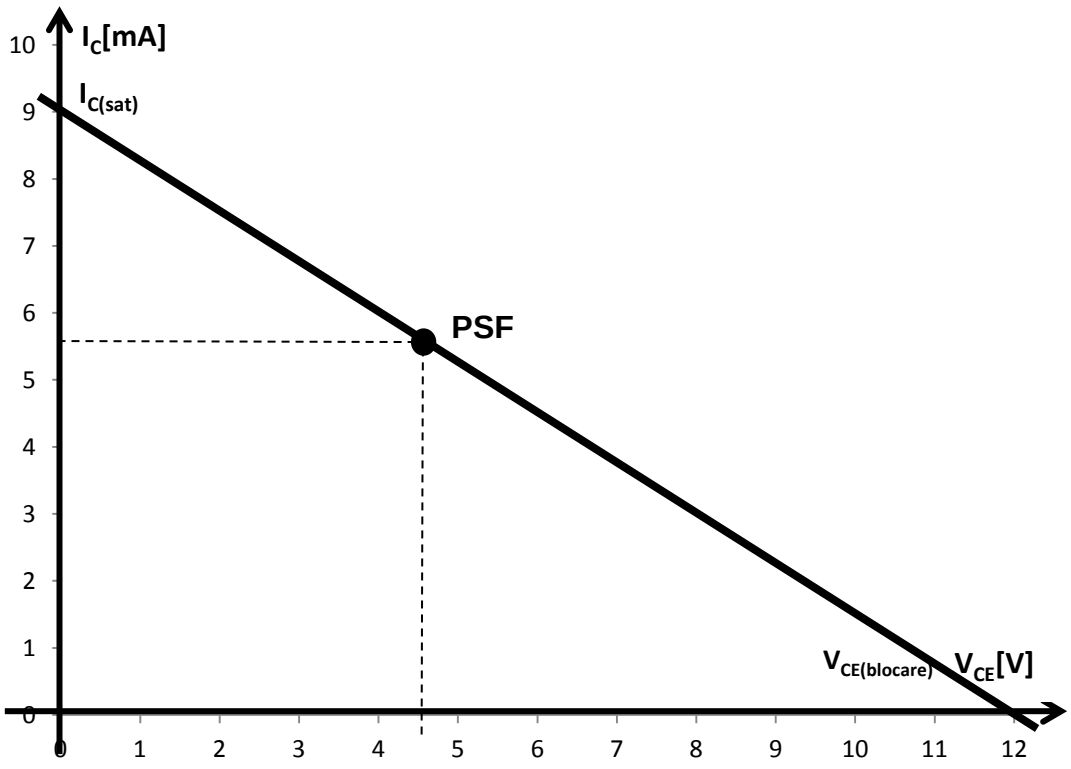


Figura 5.31 Dreapta de sarcină a TB polarizat cu divizor de tensiune

Este cea mai utilizată metodă de polarizare a tranzistoarelor bipolare.

Asigură o stabilitate destul de bună deoarece I_C este independent de β_{CC}.

5.3.4 POLARIZAREA CU DOUĂ SURSE DE TENSIUNE

Prin această metodă tranzistorul se polarizează cu o sursă de tensiune diferențială, **±V** , **+V** se aplică în colector și **–V** se aplică în emitor (**figura 5.32**).

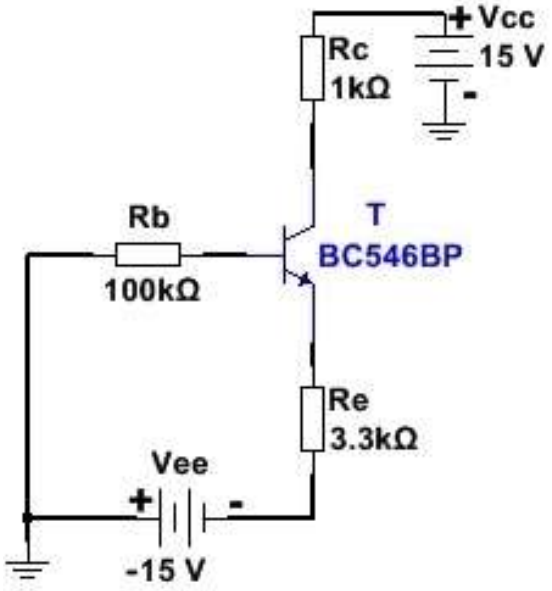


Figura 5.32 Polarizarea tranzistorului bipolar cu două surse de tensiune

Tranzistorul BC546BP are β_{CC} = 300.

Condiția $Rb \ll \beta_{CC} \cdot R_E$ este îndeplinită deoarece **100 KΩ << 990 KΩ**

Verificăm dacă este îndeplinită condiția a doua $0{,}5 < V_{CE} < (2V_{CC} - 1)$.

Se aplică legea a II-a a lui Kirchhoff pe ochiul ce conține joncțiune bază-emitor:

$$V_{BE} + I_E \cdot R_E + V_{EE} + I_B \cdot R_B = 0 \quad (1)$$

Deoarece $I_C \cong I_E$ și $I_C = \beta_{CC} \cdot I_B \implies I_B \cong \frac{I_E}{\beta_{CC}}$ (2)

În ecuația (1) se înlocuiește I_B cu cel din relația (2) se trece V_{BE} și V_{EE} în dreapta:

$$I_E \cdot R_E + \frac{I_E \cdot R_B}{\beta_{CC}} = -V_{EE} - V_{BE} \quad (3)$$

Din relația (3) $\Rightarrow$ $I_E = \frac{-V_{EE} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_B}{\beta_{CC}}}$ (4) $\Rightarrow$ $\boldsymbol{I_C = \frac{-V_{EE} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_B}{\beta_{CC}}}}$ **(5)**

Înlocuim în relația (5) valorile date $\Rightarrow$

$$\boldsymbol{I_C = \frac{-(-15V) - 0{,}7V}{3{,}3K\Omega + \frac{100K\Omega}{300}} = \frac{14{,}3V}{3{,}63K\Omega} \cong 4mA}$$

În **figura 5.32** se observă că tensiunea sursei care alimentează colectorul este egală cu suma tensiunilor care cad pe elementele dintre colector și masa montajului:

$$V_{CC} = I_C \cdot R_C + V_{CE} + I_C \cdot R_E + V_{EE} \ \ (\mathbf{6}) \ \Rightarrow$$

$$V_{CE} = V_{CC} - V_{EE} - I_C(R_C + R_E) \ (\mathbf{7})$$

Înlocuind în relația (7) valorile date $\Rightarrow V_{CE} = 15 - (-15) - 4mA \cdot 4{,}3K\Omega \ \cong 13\ V$

Condiția a doua este îndeplinită deoarece 0,5 < 13 < (2·15-1) ⇒ **0,5 < 13 < 29**

Prin calcule s-a obținut: **I_c = 4mA** și **V_{CE} = 13 V**

Punctul static de funcţionare are coordonatele P(13V ; 4mA).

Pentru trasarea dreptei de sarcină se determină **$I_{C(sat)}$** și **$V_{CE(blocare)}$**.

Pentru determinarea **$I_{C(sat)}$** în relația **(7)** se consideră **V_{CE} = 0**

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{EE}}{R_C + R_E} \ \ (8) \ \Longrightarrow \ I_{C(sat)} = \frac{15V - (-15V)}{1k\Omega + 3{,}3k\Omega} = \frac{30V}{4{,}3k\Omega} = 6{,}97mA$$

Pentru determinarea **$V_{CE(blocare)}$** în relația **(7)** se consideră **I_C = 0**

$$V_{CE(blocare)} = V_{CC} - V_{EE} \ (9) \ \Rightarrow \ V_{CE(blocare)} = 15V - (-15V) = 30V$$

În **fig. 5.33** este prezentată dreapta de sarcină și PSF-ul montajului din **fig. 5.32**

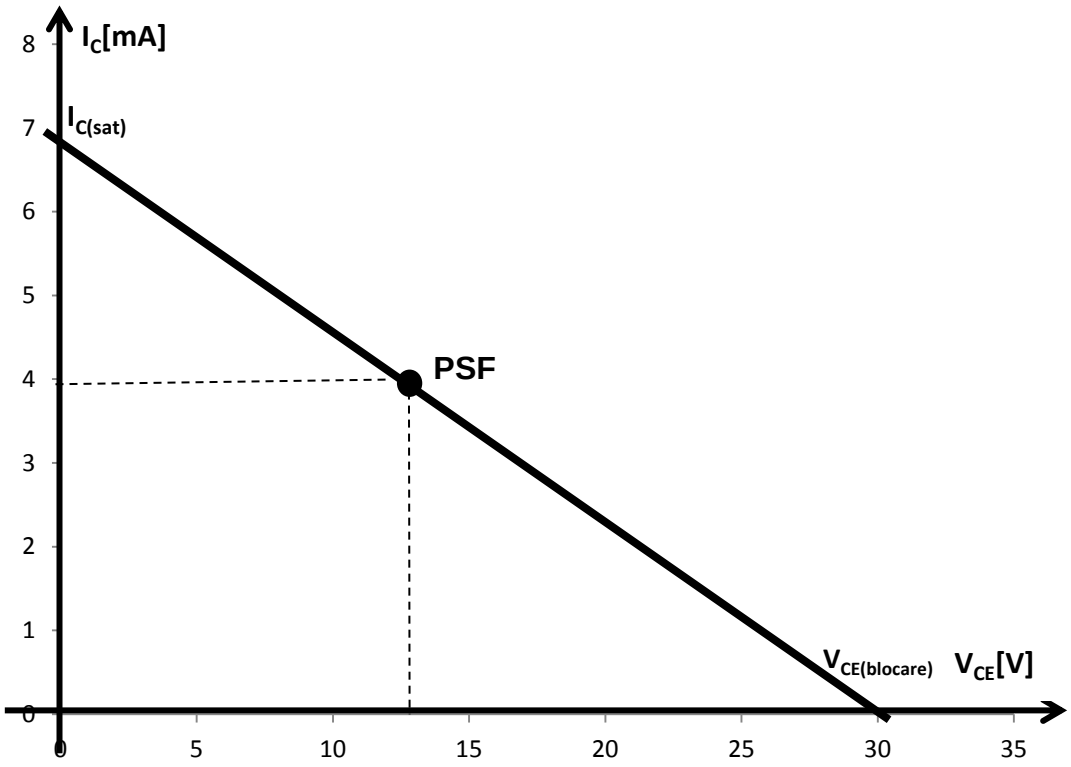


Figura 5.33 Dreapta de sarcină a TB polarizat cu două surse de tensiune

Această modalitate de polarizare asigură un PSF stabil deoarece I_C este independent de V_{BE} și de β_{CC}.

LUCRARE DE LABORATOR

POLARIZAREA TRANZISTORULUI BIPOLAR CU DIVIZOR REZISTIV.

- **OBIECTIVE:**
  - Realizarea circuitului de polarizare cu simulatorul;
  - Realizarea practică a circuitului de polarizare;
  - Determinarea PSF;
  - Trasarea dreptei de sarcină.
- **RESURSE:**
  - Multimetre digitale;
  - Pistoale de lipit;
  - Accesorii pentru lipit;
  - Conductoare;
  - Plăcuțe de lucru;
  - Rezistoare;
  - Tranzistoare bipolare **BC 546** și **BC 547**.
- **DESFĂȘURAREA LUCRĂRII:**

1. Se realizează cu simulatorul schema electronică din figura 5.34;

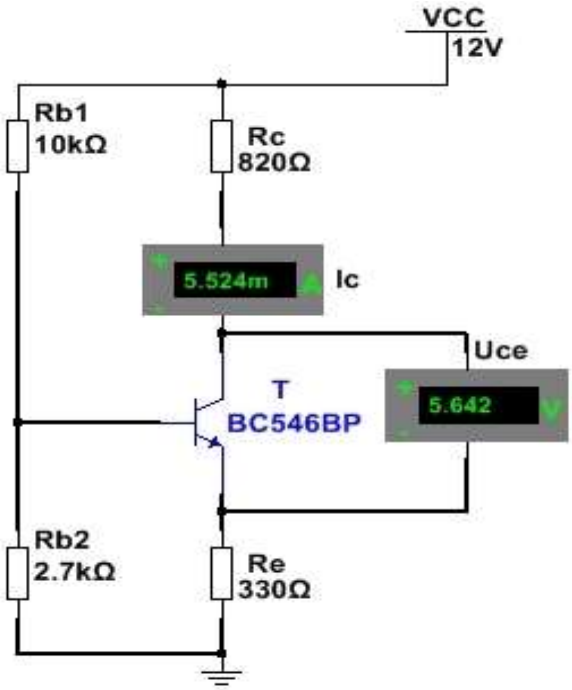


Figura 5.34 Polarizarea tranzistorului bipolar cu divizor rezistiv

2. Se realizează practic, pe placa de lucru, montajul din figura 5.34;

3. În montajul realizat se măsoară curentul de colector I_C și tensiunea colector-emitor Uce;

4. Se calculează cu ajutorul formulelor de la 5.3.3 curentul de colector I_C și tensiunea colector emitor Uce;

$$I_C \cong I_E = \frac{\left(\frac{Rb2}{Rb1 + Rb2}\right) \cdot V_{CC} - 0,7}{Re} \qquad (1)$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot (Rc + Re) \qquad (2)$$

5. Se trec în tabelul 5.2 valorile I_C și U_{CE} obținute prin simulare, practic și prin calcul și în fiecare caz se determină PSF; **TABELUL 5.2**

	SIMULARE	PRACTIC	CALCUL
I_C[mA]			
U_{CE}[V]			
PSF			

6. Se determină punctele de intersecție a dreptei de sarcină cu axele de coordonate ale graficului;

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{Rc+Re} \quad (3) \qquad V_{CE(blocare)} = V_{CC} \quad (4)$$

7. Se trasează dreapta de sarcină și se reprezintă pe dreaptă PSF.

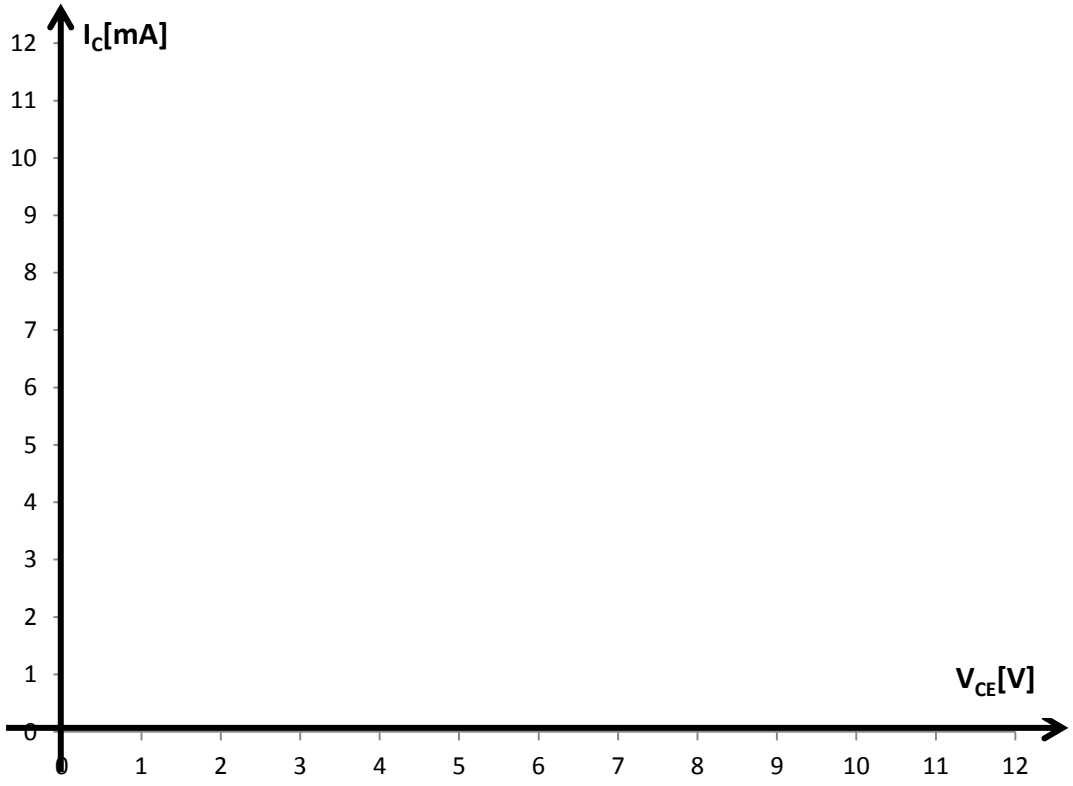


Figura 5.35 Dreapta de sarcină a TB polarizat cu divizor de tensiune

5.4. DEPANAREA CIRCUITELOR CU TRANZISTOARE BIPOLARE

Funcţionarea anormală a unui circuit cu tranzistoare bipolare, se datorează unui defect intern al unui tranzistor, sau defectării unui rezistor din circuitele de polarizare a tranzistoarelor. La tranzistor, un defect intern apare în cazul întreruperii unei joncţiuni sau străpungerii unei joncţiuni a tranzistorului (rezistenţa electrică a joncţiunii scade foarte mult). În cazul rezistoarelor pot apare întreruperi ale acestora. În majoritatea cazurilor aceste defecte aduc tranzistorul în regimul de blocare sau de saturaţie. Pentru depanarea defectului se măsoară tensiunile şi curenţii din circuit şi în funcţie de valorile acestora se poate localiza defectul respectiv.

5.4.1 DEFECTE INTERNE ALE TRANZISTORULUI

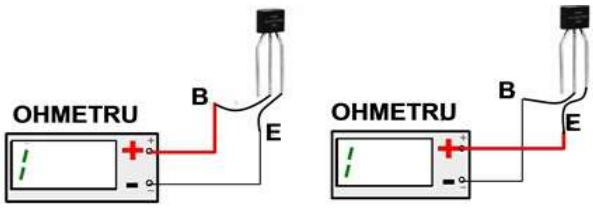
Cea mai rapidă metodă de a afla dacă joncţiunile unui tranzistor sunt întrerupte sau străpunse este **măsurarea rezistenţelor joncţiunilor** cu un multimetru digital. Pentru aceasta vom considera structura tranzistorului bipolar ca un ansamblu de două diode conectate ca în **figura 5.36**

Figura 5.36 Structura tranzistoarele bipolare cu diode

O joncţiune (BE sau BC) este **întreruptă** dacă multimetru în ambele sensuri de măsurare indică **rezistenţă foarte mare** (sau infinită).

O joncţiune (BE sau BC) este **străpunsă** dacă multimetru în ambele sensuri de măsurare indică **rezistenţă mică**.

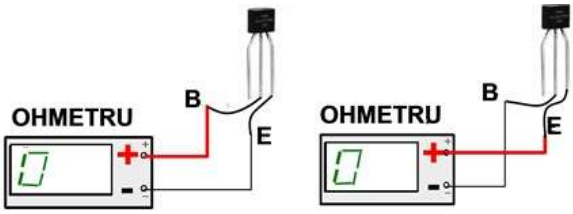
O joncţiune (BE sau BC) este **scurtcircuitată** dacă multimetru în ambele sensuri de măsurare indică **rezistenţă foarte mică** (sau infinită).



Joncţiunea bază-emitor întreruptă.

În ambele sensuri de măsurare multimetru digital indică valoarea 1

Figura 5.37 Verificarea unui tranzistor bipolar defect(joncţiune întreruptă)

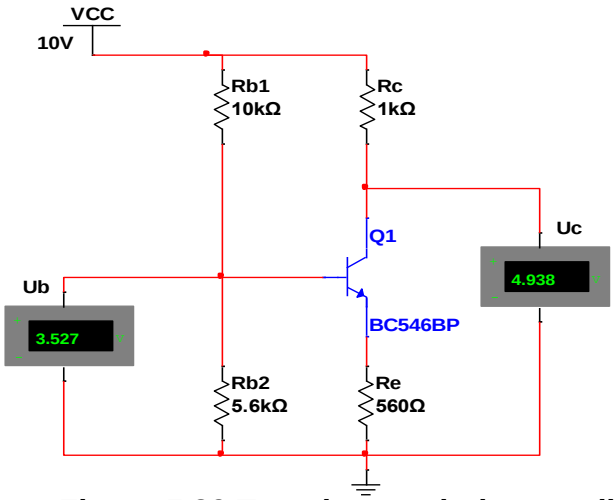


Joncţiunea bază-emitor scurtcircuitată.

În ambele sensuri de măsurare multimetru digital indică valoarea **0**

Figura 5.38 Verificarea unui tranzistor bipolar defect(joncţiune scurtcircuitată)

Altă metodă de verificare a stării joncţiunilor unui tranzistor este măsurarea valorilor tensiunilor din baza şi colectorul unui tranzistor în circuit.

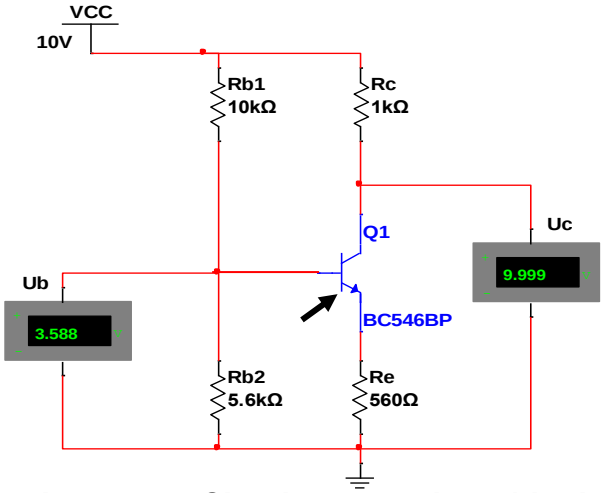


Pentru montajul din **figura 5.39** la funcţionarea în condiţii normale:

Tensiunea în bază $\mathbf{U_B = 3{,}52\ V}$

Tensiunea în colector $\mathbf{U_C = 4{,}93\ V}$

Figura 5.39 Tranzistor polarizat cu divizor rezistiv cu valorile corecte ale tensiunilor

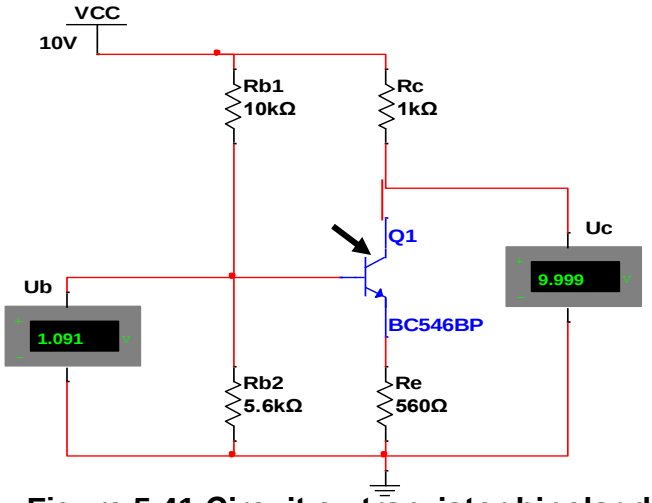


Dacă s-a **întrerup** joncţiunea BE, Emitorul sau Baza, tranzistorul se **blochează,** iar tensiunile sunt:

Tensiunea în bază $\mathbf{U_B = 3{,}58\ V}$

Tensiunea în colector $\mathbf{U_C = 9{,}99\ V}$

Figura 5.40 Circuit cu tranzistor bipolar defect (întreruperea joncţiunii BE)

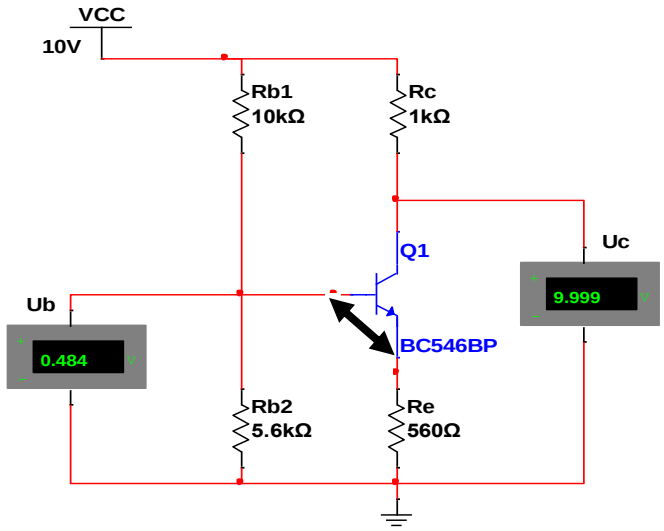


Dacă s-a **întrerup** joncţiunea BC, sau Colectorul, tranzistorul se **blochează,** iar tensiunile sunt:

Tensiunea în bază $\mathbf{U_B = 1{,}09\ V}$

Tensiunea în colector $\mathbf{U_C = 9{,}99\ V}$

Figura 5.41 Circuit cu tranzistor bipolar defect (întreruperea joncţiunii BC)

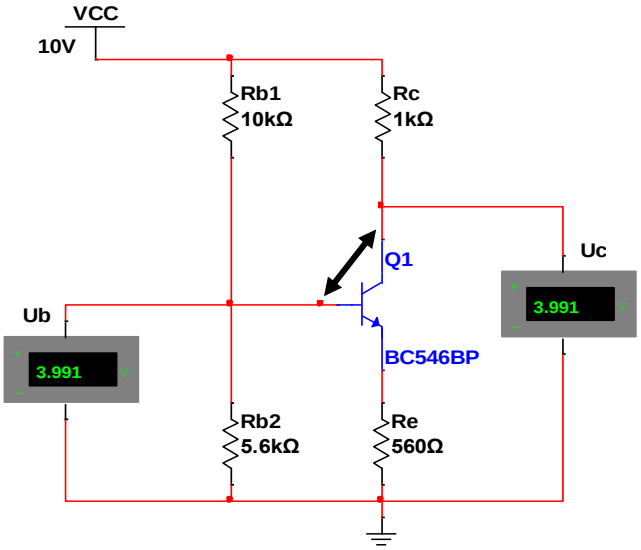


Dacă s-a **scurtcircuitat** joncţiunea BE, tranzistorul se **blochează,** iar tensiunile sunt:

Tensiunea în bază $\mathbf{U_B = 0{,}48\ V}$

Tensiunea în colector $\mathbf{U_C = 9{,}99\ V}$

Figura 5.42 Circuit cu tranzistor bipolar defect (scurtcircuitarea joncţiunii BE)

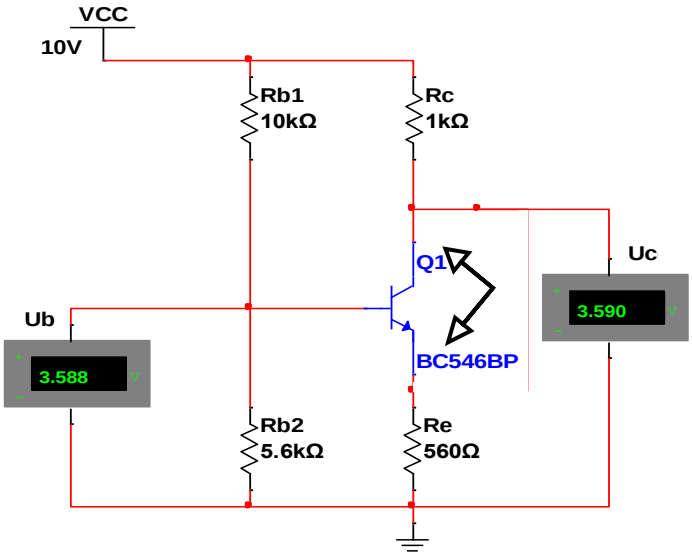


Dacă s-a **scurtcircuitat** joncţiunea BC, tranzistorul se comportă ca o diodă polarizată direct prin care circulă curent**,** iar tensiunile sunt:

Tensiunea în bază $\mathbf{U_B = 3{,}99\ V}$

Tensiunea în colector $\mathbf{U_C = 3{,}99\ V}$

Figura 5.43 Circuit cu tranzistor bipolar defect (scurtcircuitarea joncţiunii BC)



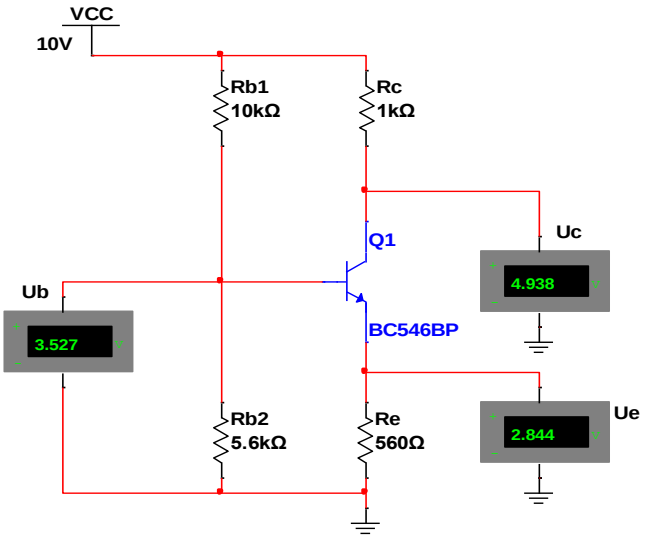
Dacă s-a **scurtcircuitat** joncţiunea CE, tranzistorul se comportă ca un conductor prin care circulă curent**,** iar tensiunile sunt:

Tensiunea în bază $\mathbf{U_B = 3{,}58\ V}$

Tensiunea în colector $\mathbf{U_C = 3{,}59\ V}$

Figura 5.44 Circuit cu tranzistor bipolar defect (scurtcircuitarea joncţiunii CE)

5.4.2 DEFECTE ALE CIRCUITELOR DE POLARIZARE



Pentru montajul din **figura 5.45**, la funcţionarea în condiţii normale, valorile tensiunilor la terminalele tranzistorului bipolar sunt:

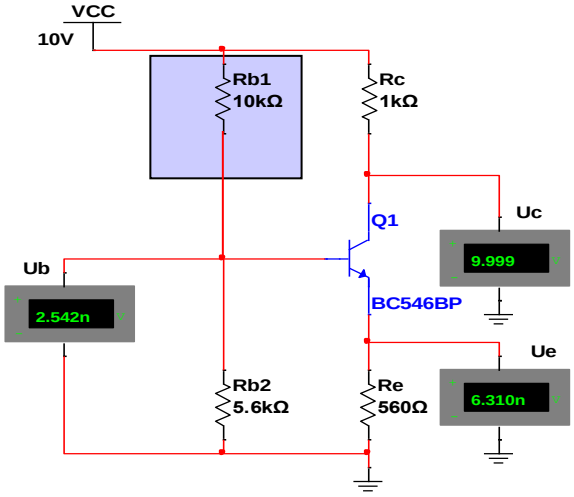
Tensiunea în bază U_B **= 3,52 V**

Tensiunea în colector U_C **= 4,93 V**

Tensiunea în emitor U_E **= 2,84 V**

Figura 5.45 TB polarizat cu divizor rezistiv cu valorile corecte ale tensiunilor

DEFECT 1. REZISTORUL Rb1 ÎNTRERUPT



Acest defect duce la dispariţia tensiunilor din baza şi emitorul tranzistorului, iar tranzistorul se **BLOCHEAZĂ**

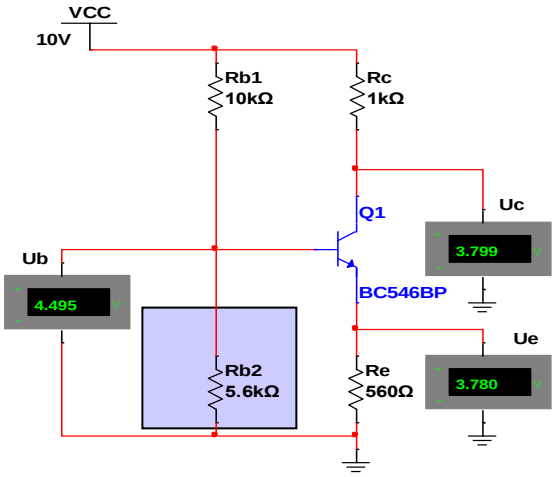
Tensiunea în bază $U_B \cong 0$ **V**

Tensiunea în emitor $U_E \cong 0$ **V**

Tensiunea în colector U_C **= 9,99 V**

Figura 5.46 Tranzistor cu circuit de polarizare defect (întrerupere circuit Rb1)

DEFECT 2. REZISTORUL Rb2 ÎNTRERUPT



Acest defect duce la creşterea tensiunii şi curentului din bază, iar tranzistorul intră în **SATURAŢIE**

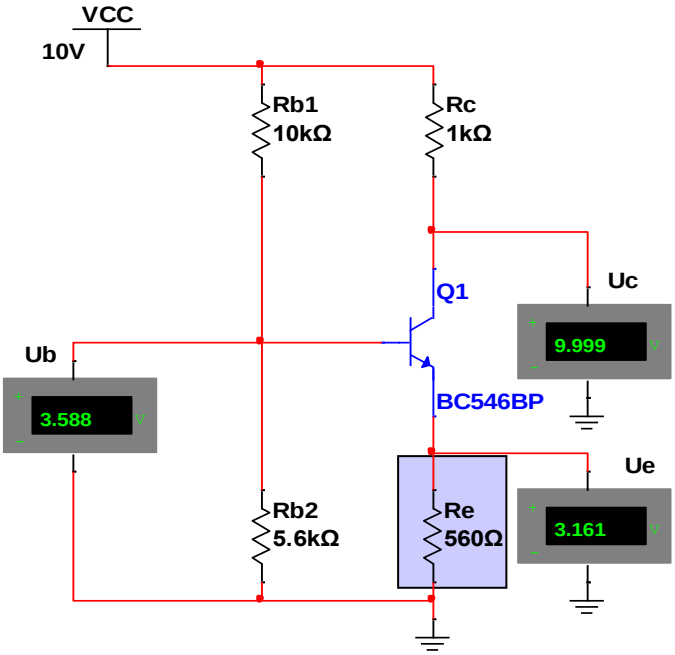
Tensiunea în bază U_B **= 4,49 V**

Tensiunea în emitor U_E **= 3,79 V**

Tensiunea în colector U_C **= 3,78 V**

Figura 5.47 Tranzistor cu circuit de polarizare defect (întrerupere circuit Rb2)

DEFECT 3. REZISTORUL R_E ÎNTRERUPT



Acest defect duce la dispariţia curenţilor prin tranzistor, iar tranzistorul se **BLOCHEAZĂ**

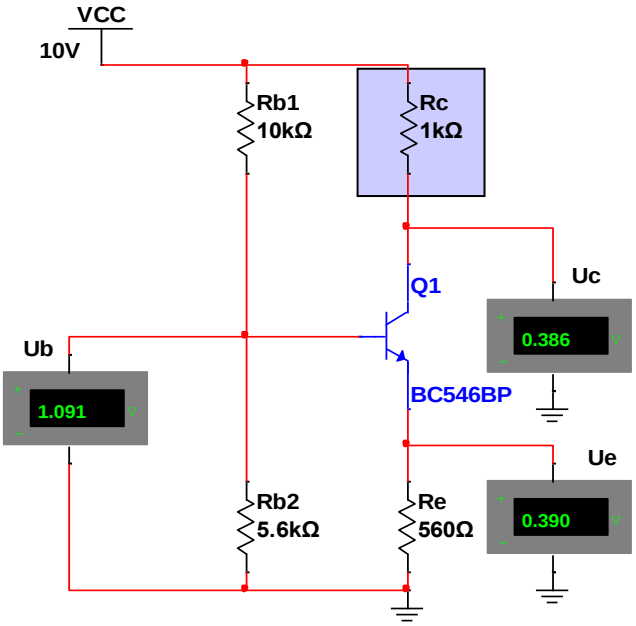
Tensiunea în bază **U_B = 3,58 V**

Tensiunea în emitor **U_E = 3,16 V**

Tensiunea în colector **U_C = 9,99 V**

Figura 5.48 Tranzistor cu circuit de polarizare defect (întrerupere circuit Re)

DEFECT 4. REZISTORUL R_C ÎNTRERUPT



Acest defect duce la dispariţia curentului prin colector. Valorile tensiunilor din colector şi emitor ne determină să presupunem că tranzistorul este saturat dar în realitate **tranzistorul nu conduce.**

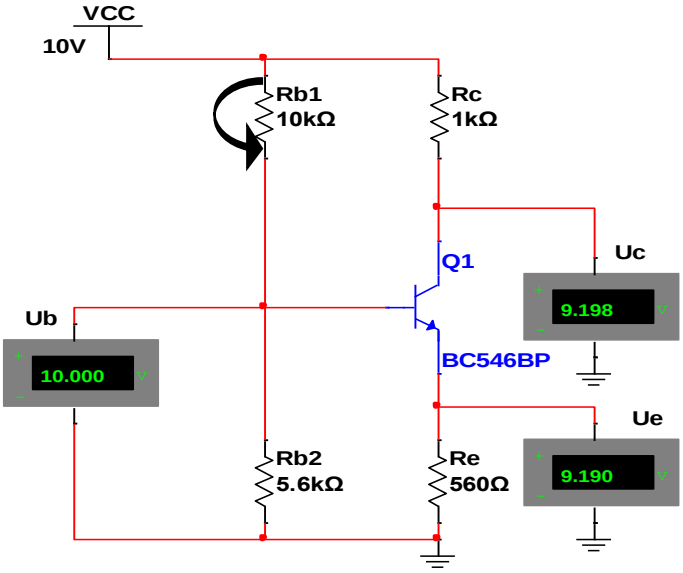
Tensiunea în bază **U_B = 1,09 V**

Tensiunea în emitor **U_E = 390 mV**

Tensiunea în colector **U_C = 386 mV**

Figura 5.49 Tranzistor cu circuit de polarizare defect (întrerupere circuit Rc)

DEFECT 5. REZISTORUL Rb1 SCURTCIRCUITAT



Tensiunea bază-emitor este egală cu tensiunea de alimentare a tranzistorului fapt care determină deteriorarea acestei joncţiuni.

Tranzistorul se **BLOCHEAZĂ**.

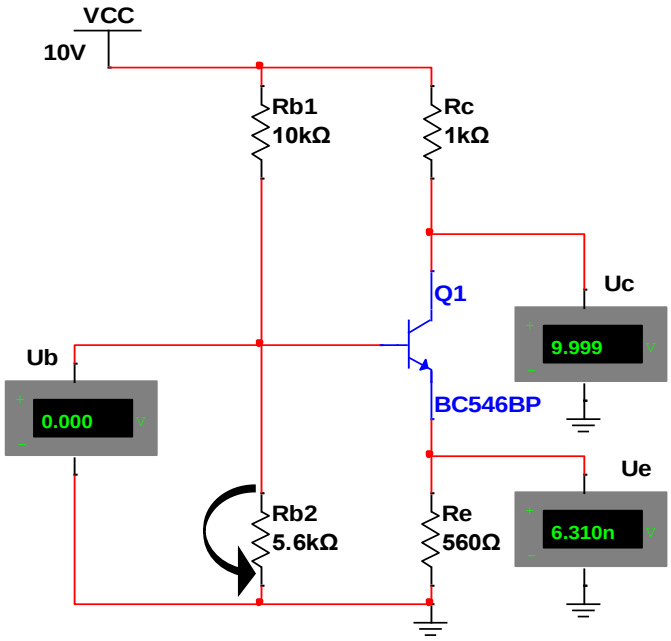
Tensiunea în bază $\mathbf{U_B = 10\ V}$

Tensiunea în emitor $\mathbf{U_E = 9{,}1\ V}$

Tensiunea în colector $\mathbf{U_C = 9{,}1}$

Figura 5.50 Tranzistor cu circuit de polarizare defect (scurtcircuit Rb1)

DEFECT 6. REZISTORUL Rb2 SCURTCIRCUITAT



Acest defect duce la dispariţia curentului şi tensiunii în baza tranzistorului, iar tranzistorul se **BLOCHEAZĂ**

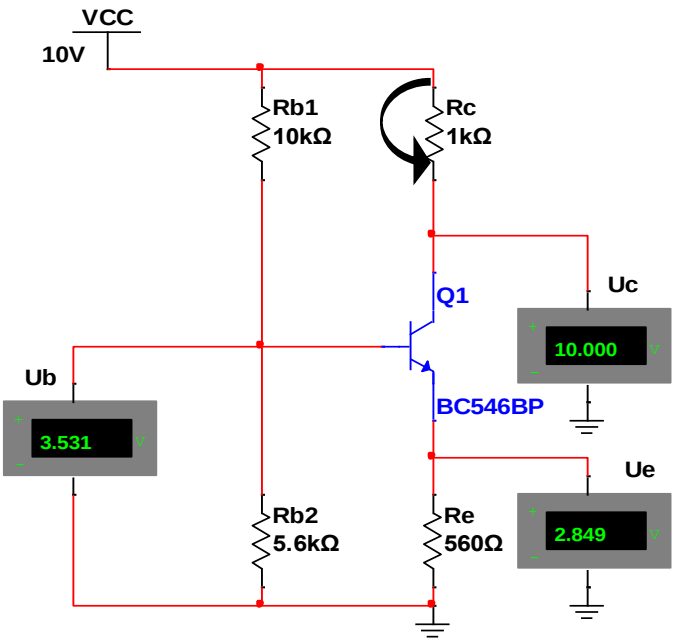
Tensiunea în bază $\mathbf{U_B = 0\ V}$

Tensiunea în emitor $\mathbf{U_E \cong 0\ V}$

Tensiunea în colector $\mathbf{U_C = 9{,}99\ V}$

Figura 5.51 Tranzistor cu circuit de polarizare defect (scurtcircuit Rb2)

DEFECT 7. REZISTORUL R_C SCURTCIRCUITAT



Acest defect duce la creşterea tensiunii pe joncţiunea colector-emitor a tranzistorului.

Funcţionarea tranzistorului nu este stabilă (**PSF-ul se deplasează spre zona de blocare**)

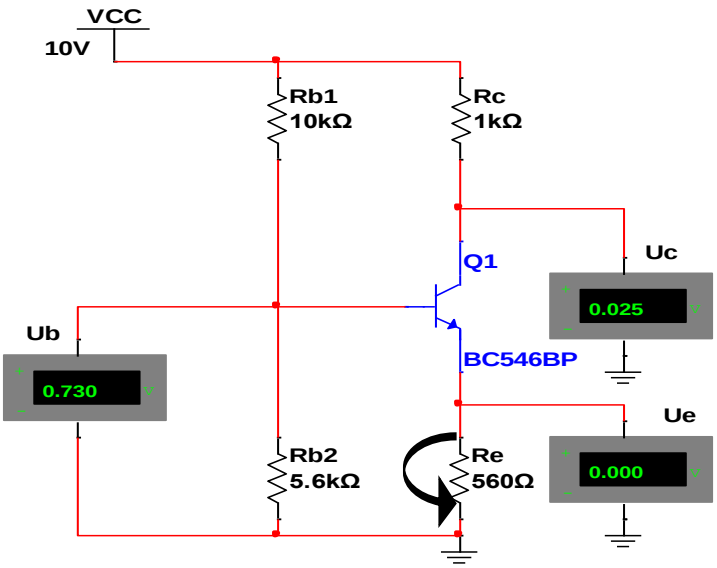
Tensiunea în bază **U_B = 3,53 V**

Tensiunea în emitor **U_E = 2,84 V**

Tensiunea în colector **U_C = 10 V**

Figura 5.52 Tranzistor cu circuit de polarizare defect (scurtcircuit Rc)

DEFECT 8. REZISTORUL R_E SCURTCIRCUITAT



Acest defect duce la funcţionarea tranzistorului în zona de **SATURAŢIE**.

Tensiunea în bază **U_B = 0,7 V**

Tensiunea în emitor **U_E = 0 V**

Tensiunea în colector **U_C = 25 mV**

Figura 5.53 Tranzistor cu circuit de polarizare defect (scurtcircuit Re)

5.5. REZOLVAREA CIRCUITELOR CU TRANZISTOARE BIPOLARE

PROBLEMA 1.

În circuitul din figura 5.54 se cunosc valorile: $I_B = 40\ \mu A$ *și* $\beta = 250$

Se cere:

a. **Valoarea intensității curentului de colector I_C .**
b. **Valoarea tensiunii bază-emitor U_{BE} .**
c. **Valoarea tensiunii colector-emitor U_{CE} .**

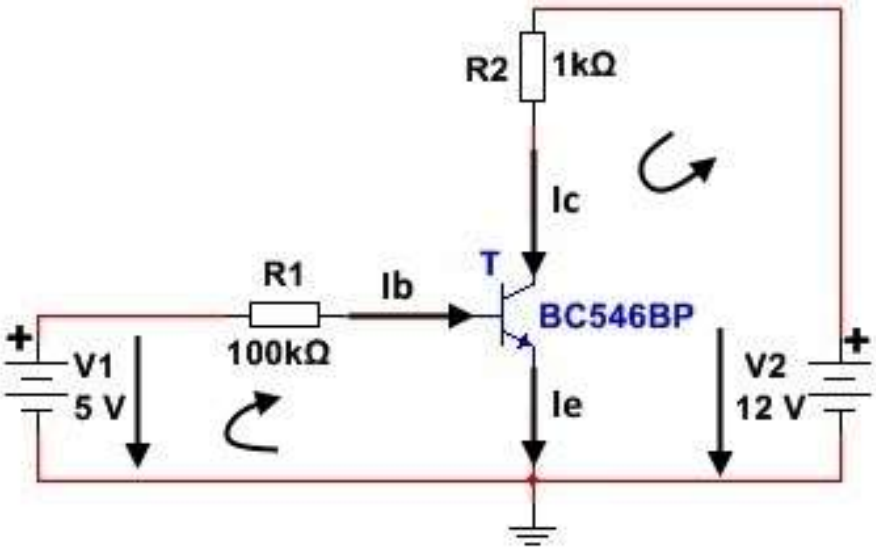


Figura 5.54 Tranzistor bipolar NPN polarizat cu două surse de alimentare

REZOLVARE

a. $I_C = \beta \cdot I_B = 250 \cdot 40(\mu A) = 10000\ \mu A = 10\ mA$ $\quad I_C = \mathbf{10\ mA}$

b. În ochiul de rețea unde se află joncțiunea BE, conform legii a II a lui Kirchhoff:

$-V1 + U_{R1} + U_{BE} = 0 \Longrightarrow U_{BE} = V1 - R1 \cdot I_B \Longrightarrow U_{BE} = 5V - 100K\Omega \cdot 40\mu A$

$U_{BE} = 5 - 100 \cdot 10^3 \cdot 40 \cdot 10^{-6} = 5 - 4 = 1\ V$ $\quad U_{BE} = \mathbf{1\ V}$

c. În ochiul de rețea unde se află joncțiunea CE, conform legii a II a lui Kirchhoff:

$-V2 + U_{R2} + U_{CE} = 0 \Longrightarrow U_{CE} = V2 - R2 \cdot I_C \Longrightarrow U_{CE} = 12V - 1K\Omega \cdot 10mA$

$U_{CE} = 12 - 1 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 12 - 10 = 2\ V$ $\quad U_{CE} = \mathbf{2\ V}$

PROBLEMA 2.

În circuitul din figura 5.55 se cunosc valorile: $U_{BE} = 0,6\ V$ *și* $\beta = 200$

Se cere:

a. **Valoarea intensității curentului de colector I_C .**
b. **Valoarea tensiunii din colector U_C .**
c. **Valoarea tensiunii din emitor U_E .**
d. **Valoarea tensiunii colector – emitor U_{CE}.**

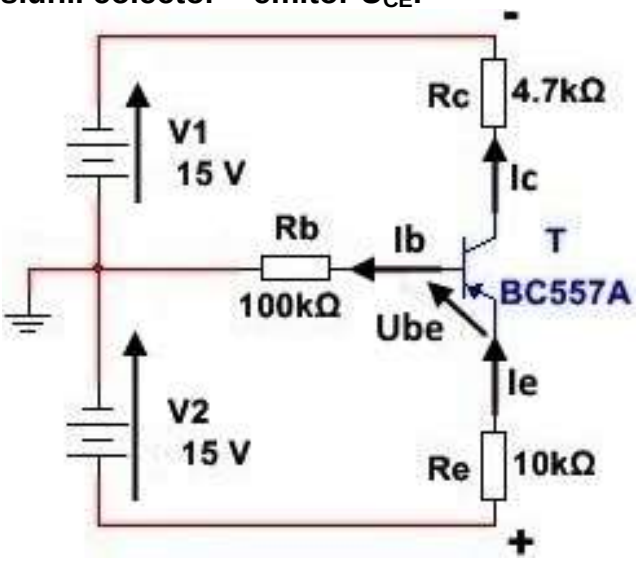


Figura 5.55 Tranzistor bipolar PNP polarizat cu două surse de alimentare

REZOLVARE

a. $-V2 + Ube + Re \cdot Ie + Rb \cdot Ib = 0 \quad \Rightarrow \quad Re \cdot Ie + Rb \cdot Ib = V2 - Ube$ (1)

Dar: $Ie \cong Ic = \beta \cdot Ib \quad \Rightarrow \quad Ib = \frac{Ic}{\beta}$ *și* $Ie = Ic$ (2)

Înlocuind (2) în (1) $\Rightarrow Re \cdot Ic + Rb \cdot \frac{Ic}{\beta} = V2 - Ube \Rightarrow Ic \cdot \left(Re + \frac{Rb}{\beta}\right) = V2 - Ube$

$$Ic = \frac{V2 - Ube}{\frac{Rb}{\beta} + Re} = \frac{15V - 0,6V}{\frac{100K}{200} + 10K} = \frac{14,4}{(\frac{100}{200} + 10) \cdot 10^3} = \frac{14,4}{10,5} \cdot 10^{-3} = 1,37\ mA$$

$$\boldsymbol{Ic = 1,37\ mA}$$

OBS. Se poate calcula mai întâi I_B apoi I_C și I_E știind că $I_E = (\beta + 1) \cdot I_B$ *și* $I_C = \beta \cdot I_B$

b. $V1 - Rc \cdot Ic + U_C = 0 \Rightarrow U_C = Rc \cdot Ic - V1 \Rightarrow U_C = 4,7K \cdot 1,37mA - 15V$

$$U_C = 4,7 \cdot 10^3 \cdot 1,37 \cdot 10^{-3} - 15 = 6,43 - 15 = -8,57 \qquad \boldsymbol{U_C = -8,57\ V}$$

c. $V2 - Re \cdot Ie - U_E = 0 \Rightarrow U_E = V2 - Re \cdot Ie \Rightarrow U_E = 15V - 10K \cdot 1,37mA$

$$U_E = 15 - 10 \cdot 10^3 \cdot 1,37 \cdot 10^{-3} = 15 - 13,7 = 1,3 \qquad \boldsymbol{U_E = 1,3\ V}$$

d. $U_{CE} = U_C - U_E \Rightarrow U_{CE} = -8,57V - 1,3V \Rightarrow \boldsymbol{U_{CE} = -9,87\ V}$

PROBLEMA 3.

În circuitul din figura 5.56 se cunosc valorile: $U_{BE} = 0,6\,V$ *și* $\beta = 239$

Se cere:

a. **Valoarea intensității curentului din bază Ib .**
b. **Valoarea intensității curentului din colector Ic și curentului din emitor Ie.**
c. **Valoarea tensiunii colector – emitor Uce.**

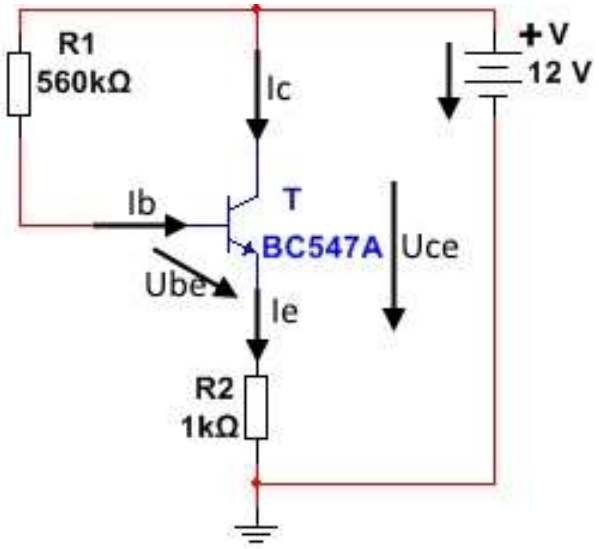


Figura 5.56 Tranzistor bipolar NPN polarizat cu o sursă de alimentare

REZOLVARE

a. Se aplică T2 Kirchhoff pe ochiul care conține joncțiunea bază-emitor:

$R1 \cdot Ib + Ube + R2 \cdot Ie - V = 0 \;\Rightarrow V = Ube + R1 \cdot Ib + R2 \cdot Ie$ **(1)**

$Ic = \beta \cdot Ib$ **(2)** $Ie = Ib + Ic$ **(3)** Înlocuind (2) în (3) $\Rightarrow$ $Ie = Ib \cdot (\beta + 1)$ **(4)**

Înlocuind (4) în (1) $\Rightarrow$ $V - Ube = R1 \cdot Ib + R2 \cdot Ib \cdot (\beta + 1)$ **(5)**

Din **(5)** $\Rightarrow$ $Ib = \frac{V - Ube}{R1 + R2 \cdot (\beta + 1)}$ **(6)**

$$Ib = \frac{12V - 0,6V}{560K + 1K \cdot (239+1)} = \frac{11,4}{800 \cdot 10^3} = 0,014 \cdot 10^{-3}\,A \quad \Rightarrow \boldsymbol{Ib = 14\,\mu A}$$

b. $Ic = \beta \cdot Ib \;\Rightarrow Ic = 239 \cdot 14\mu A = 3346\mu A = 3,34\,mA \;\Rightarrow\; \boldsymbol{Ic = 3,34mA}$

$Ie = (\beta + 1) \cdot Ib \;\Rightarrow Ie = 240 \cdot 14\mu A = 3360\mu A = 3,36\,mA \;\Rightarrow\; \boldsymbol{Ie = 3,36mA}$

c. Se aplică T2 Kirchhoff pe ochiul care conține joncțiunea colector-emitor:

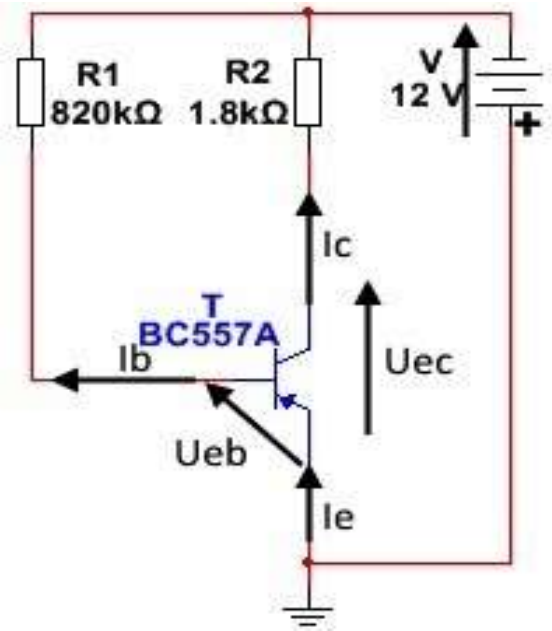
$Uce + R2 \cdot Ie - V = 0 \quad \Rightarrow \quad Uce = V - R2 \cdot Ie$ **(7)**

$Uce = 12V - 1K \cdot 3,36mA = 12 - 1 \cdot 10^3 \cdot 3,36 \cdot 10^{-3} = 12 - 3,36 = 8,64$

$\boldsymbol{Uce = 8,64\,V}$

PROBLEMA 4.

În circuitul din figura 5.57 se cunosc valorile: $U_{EB} = 0,7\ V$ *și* $\beta = 220$.



Se cere:

a. Coordonatele punctului static de funcționare.

b. Coordonatele punctelor de intersecție ale dreptei de sarcină cu axele de coordonate.

Figura 5.57 Tranzistor bipolar PNP polarizat cu o sursă de alimentare

REZOLVARE

a. Se aplică T2 Kirchhoff pe ochiul ce conține joncțiunea bază-emitor:

$$Ueb + R1 \cdot Ib - V = 0 \ \Rightarrow R1 \cdot Ib = V - Ueb \ \Rightarrow \ Ib = \frac{V - Ueb}{R1} \ (\mathbf{1})$$

$$Ib = \frac{12V - 0,7V}{820K\Omega} = \frac{11,3}{820 \cdot 10^3} = 0,013 \cdot 10^{-3}\ mA = 13\ \mu A \quad \boldsymbol{Ib = 13\mu A}$$

$$Ic = \beta \cdot Ib \ (\mathbf{2}) \quad \Rightarrow Ic = 220 \cdot 13\mu A = 2860\mu A = 2,8mA \quad \boldsymbol{Ic = 2,8\ mA}$$

Se aplică T2 Kirchhoff pe ochiul ce conține joncțiunea colector-emitor:

$$Uec + R2 \cdot Ic - V = 0 \ \Rightarrow Uec = V - R2 \cdot Ic \ (\mathbf{3})$$

$$Uec = 12V - 1,8K \cdot 2,8mA = 12 - 1,8 \cdot 10^3 \cdot 2,8 \cdot 10^{-3} \ \Rightarrow \quad \boldsymbol{Uec = 6,9\ V}$$

Coordonatele PSF sunt: $(\boldsymbol{Ic = 2,8\ mA}\ ;\ \boldsymbol{Uec = 6,9\ V})$

b. Pentru determinarea punctelor de intersecție cu axele în relația (3) se egalează cu zero, pe rând, Ic *și* Uce

$$Ic = 0 \ \Rightarrow Uec + 0 - V = 0 \ \Rightarrow Uec = V \ \Rightarrow \ \boldsymbol{Uec(max) = 12V}$$

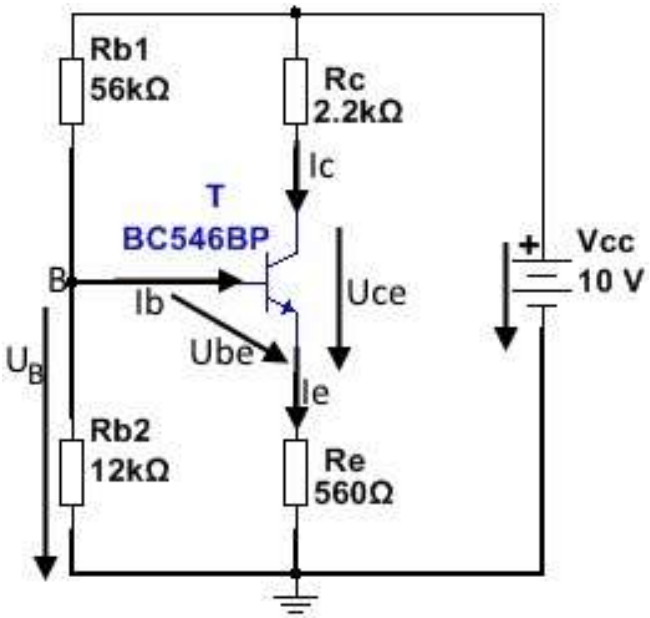
$$Uec = 0 \ \Rightarrow 0 + R2 \cdot Ic - V = 0 \ \Rightarrow Ic = \frac{V}{R2} \ \Rightarrow \ \boldsymbol{Ic(max) = 6,6\ mA}$$

Coordonatele punctelor de intersecție cu axele sunt:

$\boldsymbol{A(12\ ;\ 0)}$ *și* $\boldsymbol{B(0\ ;6,6)}$

PROBLEMA 5.

În circuitul din figura 5.58 se cunosc valorile: $\boldsymbol{Ube = 0,6\,V}$ **şi** $\boldsymbol{\beta = 310}$**.**



Se cere:

a. Coordonatele punctului static de funcționare.

b. Coordonatele punctelor de intersecție ale dreptei de sarcină cu axele de coordonate.

c. Să se verifice dacă tranzistorul funcționează în regiunea activă normală

Figura 5.58 Tranzistor bipolar NPN polarizat cu divizor de tensiune

REZOLVARE

a. Divizorul de tensiune format din rezistoarele Rb1 și Rb2 stabilește în baza tranzistorului T tensiunea $U_B = \left(\frac{Rb2}{Rb1+Rb2}\right) \cdot Vcc \quad (\mathbf{1})$

$$U_B = \left(\frac{12K}{56k + 12k}\right) \cdot 10V = 0{,}176 \cdot 10 = 1{,}76V \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{U_B = 1,76\,V}$$

Se aplică T2 Kirchhoff pe ochiul ce conține joncțiunea bază-emitor:

$$-U_B + Ube + Re \cdot Ie = 0 \quad \Rightarrow \quad Re \cdot Ie = U_B - Ube \quad \Rightarrow \quad Ie = \frac{U_B - Ube}{Re} \quad (\mathbf{2})$$

$$Ie = \frac{1{,}76V - 0{,}6V}{560\Omega} = \frac{1{,}16}{560} = 0{,}00207\,A = 2{,}07\,mA \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{Ie = 2,07\,mA}$$

Se știe că: $Ie = (\beta + 1) \cdot Ib \quad \Rightarrow \quad Ib = \frac{Ie}{\beta+1} \quad (\mathbf{3})$

$$Ib = \frac{2{,}07}{310 + 1} = \frac{2{,}07}{311} = 0{,}0066\,mA = 6{,}6\,\mu A \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{Ib = 6,6\,\mu A}$$

Deoarece $Ic = \beta \cdot Ib \;\; (\mathbf{4}) \Rightarrow Ic = 310 \cdot 6{,}6\,\mu A = 2046\,\mu A = 2{,}04\,mA$

$\boldsymbol{Ic = 2,04\,mA}$

Se aplică T2 Kirchhoff pe ochiul ce conține joncțiunea colector-emitor:

$$-Vcc + Rc \cdot Ic + Uce + Re \cdot Ie = 0 \;\Rightarrow\; Uce = Vcc - Rc \cdot Ic - Re \cdot Ie \;\; (\mathbf{5})$$

$$Uce = 10 - 2{,}2K\Omega \cdot 2{,}04mA - 560\Omega \cdot 2{,}07mA$$

$$Uce = 10 - 2{,}2 \cdot 10^3 \cdot 2{,}04 \cdot 10^{-3} - 560 \cdot 2{,}07 \cdot 10^{-3}$$

$$Uce = 10 - 4{,}48 - 1{,}16 = 4{,}36\,V \;\Rightarrow\; \boldsymbol{Uce = 4{,}36\,V}.$$

Coordonatele PSF sunt: $(\boldsymbol{Ic = 2{,}04\,mA}\,;\;\boldsymbol{Uce = 4{,}36\,V})$

b. Pentru determinarea punctelor de intersecție cu axele în relația (5) se egalează cu zero, pe rând, Ic *și* Uce

$$Ic = 0 \;\Rightarrow Uce = 10 - 0 - 1{,}16 \;\Rightarrow\; \boldsymbol{Uce(max) = 8{,}84V}$$

$$Uec = 0 \;\Rightarrow Rc \cdot Ic = Vcc - 0 - Re \cdot Ie \;\Rightarrow Ic = \frac{Vcc - Re \cdot Ie}{Rc}$$

$$Ic = \frac{10 - 1{,}16}{2{,}2 \cdot 10^3} = \frac{8{,}84}{2{,}2} \cdot 10^{-3} = 4{,}01 \cdot 10^{-3}\,A \quad \boldsymbol{Ic(max) = 4{,}01\,mA}$$

Coordonatele punctelor de intersecție cu axele sunt:

$\boldsymbol{A(8{,}84\,;\,0)}$ *și* $\boldsymbol{B(0\,;4{,}01)}$

c. Tranzistorul funcționează în RAN dacă sunt îndeplinite condițiile;

(1) $\boldsymbol{10 \cdot Rb2 < \beta \cdot Re}$ **(2)** $\boldsymbol{0{,}5 < Uce < (Vcc - 1)\;[V]}$

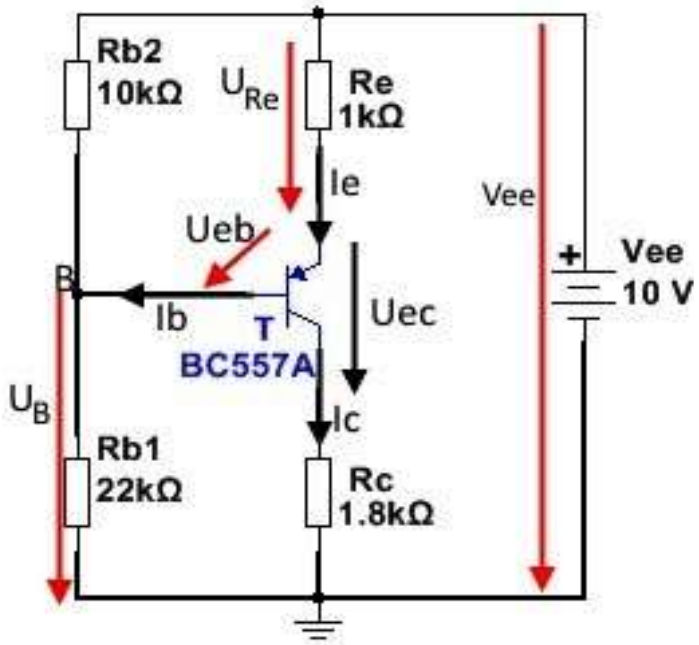
Verificarea condițiilor:

1. $\boldsymbol{12000 \cdot 10 < 310 \cdot 560 \;\Rightarrow\; 120000 < 173600 \;\Rightarrow\; "A"}$
2. $\boldsymbol{0{,}5 < 4{,}36 < 10 - 1 \;\Rightarrow\; 0{,}5 < 4{,}36 < 9 \;\Rightarrow\; "A"}$

Pentru verificarea regimului de funcționare a tranzistorului se calculează tensiunea pe fiecare terminal al tranzistorului apoi se observă cum sunt polarizate joncțiunile tranzistorului. Această metodă este prezentată în problemele care urmează.

PROBLEMA 6.

În circuitul din figura 5.59 se cunosc valorile: $\boldsymbol{Ueb = 0,7\,V}$ **şi** $\boldsymbol{\beta = 215}$**.**



Se cere:

a. Coordonatele punctului static de funcționare.

b. Să se determine regimul de funcționare al tranzistorului.

Figura 5.59 Tranzistor bipolar PNP polarizat cu divizor de tensiune

REZOLVARE

a. Divizorul de tensiune format din rezistoarele Rb1 și Rb2 stabilește în baza tranzistorului T tensiunea $U_B = \left(\frac{Rb1}{Rb1+Rb2}\right) \cdot Vcc \quad (\mathbf{1})$

$$U_B = \left(\frac{22K}{22k + 10k}\right) \cdot 10V = 0{,}688 \cdot 10 = 6{,}88V \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{U_B = 6,88\,V}$$

Între tensiunile marcate cu roșu în schema de mai sus este relația:

$$Vee = U_{Re} + Ueb + U_B \quad \Longrightarrow \quad U_{Re} = Vee - Ueb - U_B \quad (\mathbf{2})$$

$U_{Re} = Re \cdot Ie \quad (\mathbf{3})$ Înlocuind relația (**3**) în relația (**2**) se obține:

$$Re \cdot Ie = Vee - Ueb - U_B \quad \Longrightarrow \quad Ie = \frac{Vee - Ueb - U_B}{Re} \quad (\mathbf{4})$$

$$Ie = \frac{10 - 0{,}7 - 6{,}88}{1 \cdot 10^3} = 2{,}42 \cdot 10^{-3}\,A = 2{,}42\,mA \quad \Longrightarrow \quad \boldsymbol{Ie = 2,42\,mA}$$

Se știe că: $Ie = (\beta + 1) \cdot Ib \quad \Rightarrow \quad Ib = \frac{Ie}{\beta+1} \quad (\mathbf{5})$

$$Ib = \frac{2{,}42}{215 + 1} = \frac{2{,}42}{216} = 0{,}011\,mA = 11\,\mu A \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{Ib = 11\,\mu A}$$

Deoarece $Ic = \beta \cdot Ib \ \ (\mathbf{6}) \Rightarrow Ic = 215 \cdot 11\ \mu A = 2365\ \mu A = 2{,}36\ mA$

$\boldsymbol{Ic = 2{,}36\ mA}$

Se aplică T2 Kirchhoff pe ochiul ce conține joncțiunea colector-emitor:

$-Vee + Re \cdot Ie + Uec + Rc \cdot Ic = 0 \ \ \Rightarrow \ \ Uec = Vcc - Re \cdot Ie - Rc \cdot Ic \ \ (\mathbf{7})$

$Uec = 10V - 1K\Omega \cdot 2{,}42mA - 1{,}8K\Omega \cdot 2{,}36mA$

$Uec = 10 - 1 \cdot 10^3 \cdot 2{,}42 \cdot 10^{-3} - 1{,}8 \cdot 10^3 \cdot 2{,}36 \cdot 10^{-3}$

$Uec = 10 - 2{,}42 - 4{,}24 = 3{,}34 \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{Uec = 3{,}34\ V}$

Coordonatele PSF sunt: $(\boldsymbol{Ic = 2{,}36\ mA}\ ;\ \boldsymbol{Uec = 3{,}34\ V})$

b. Pentru determinarea regimului de funcționare se determină tensiunile în Emitor, Bază, Colector și se observă cum sunt polarizate joncțiunile EB și EC.

Tensiunile la terminalele tranzistorului se determină față de "masa" montajului.

$\boldsymbol{Ub = 6{,}88\ V}$ a fost calculat cu relația **(1)**

$Ueb = Ue - Ub \ \ \Rightarrow Ue = Ueb + Ub \ \ (\mathbf{8})$

$Ue = 0{,}7V + 6{,}88V = 7{,}58\ V \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{Ue = 7{,}58\ V}$

$Uec = Ue - Uc \ \ \Rightarrow Uc = Ue - Uec \ \ (\mathbf{9})$

$Uc = 7{,}58V - 3{,}34V = 4{,}24\ V \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{Uc = 4{,}24\ V}$

Se observă că ***Uc = U_{Rc} = 4,24 V*** (o metodă mai simplă!)

$\boldsymbol{Ue = 7{,}58\ V} \quad ; \quad \boldsymbol{Ub = 6{,}88\ V} \quad ; \quad \boldsymbol{Uc = 4{,}24V}$

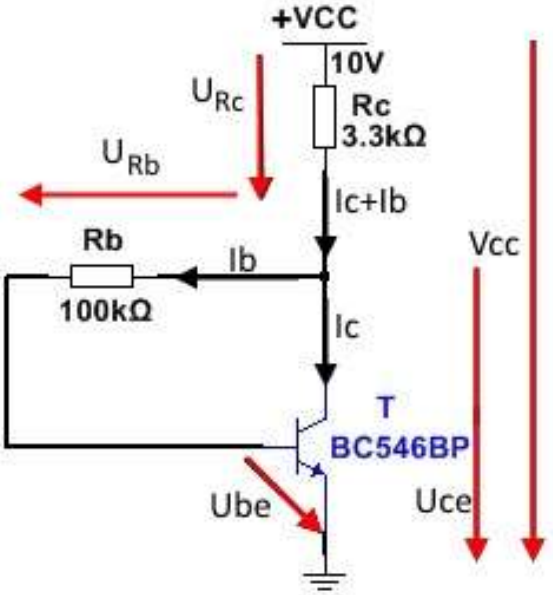
Deoarece $\boldsymbol{Ue > Ub} \Rightarrow$ joncțiunea emitor-bază este polarizată direct

Deoarece $\boldsymbol{Uc < Ub} \Rightarrow$ joncțiunea colector-bază este polarizată invers

Tranzistorul funcționează în regim activ normal deoarece joncțiunea emitor-bază este polarizată direct iar joncțiunea colector-bază este polarizată invers.

PROBLEMA 7.

În circuitul din figura 5.60 se cunosc valorile: $\boldsymbol{Ube = 0,6\,V \quad și \;\; \beta = 280}$



Se cere:

a. Valorile parametrilor ce caracterizează punctul static de funcționare al tranzistorului.

b. Să se determine regimul de funcționare al tranzistorului.

Figura 5.60 Tranzistor bipolar NPN polarizat cu reacție în colector

REZOLVARE

a. Parametrii care caracterizează PSF sunt: ***Ib, Ic, Uce***.

Deoarece $Ic \gg Ib \;\; \Rightarrow \;\; Ic + Ib \cong Ic \;\; \Rightarrow \;\; U_{Rc} = Rc \cdot Ic \quad (\mathbf{1})$

Pe ochiul format de : ***Vcc, U_{Rc}, U_{Rb}, U_{be}*** se aplică T2 Kirchhoff:

$$Vcc = U_{Rc} + U_{Rb} + Ube \quad \Rightarrow U_{Rc} + U_{Rb} = Vcc - Ube \quad (\mathbf{2})$$

$$Rc \cdot Ic + Rb \cdot Ib = Vcc - Ube \quad (\mathbf{3}) \qquad Ic = \beta \cdot Ib \quad (\mathbf{4})$$

Înlocuind relația **(4)** în relația **(3)** se obține:

$$Rc \cdot \beta \cdot Ib + Rb \cdot Ib = Vcc - Ube \quad \Rightarrow \quad Ib = \frac{Vcc - Ube}{Rc \cdot \beta + Rb} \quad (\mathbf{5})$$

$$Ib = \frac{10V - 0,6V}{3,3K\Omega \cdot 280 + 100K\Omega} = \frac{9,4}{3,3 \cdot 10^3 \cdot 280 + 100 \cdot 10^3} = \frac{9,4}{1024} \cdot 10^{-3}$$

$$Ib = 0,009 \cdot 10^{-3}\,A = 0,009\,mA = 9\,\mu A \qquad \Rightarrow \qquad \boldsymbol{Ib = 9\,\mu A}$$

Se înlocuiește valoarea lui ***Ib*** în relația **(4)** și se obține:

$$Ic = 280 \cdot 9\,\mu A = \; 2520\,\mu A = 2,52\,mA \;\; \Rightarrow \;\; \boldsymbol{Ic = 2,52\,mA}$$

Pe ochiul format de : ***Vcc, U_{Rc}, Uce*** se aplică T2 Kirchhoff:

$$Vcc = U_{Rc} + Uce \quad \Rightarrow Uce = Vcc - U_{Rc} \quad \Rightarrow \quad Uce = Vcc - Rc \cdot Ic \ (\mathbf{6})$$

$$Uce = 10V - 3{,}3K\Omega \cdot 2{,}52mA = 10 - 3{,}3 \cdot 10^3 \cdot 2{,}52 \cdot 10^{-3}$$

$$Uce = 10 - 3{,}3 \cdot 2{,}52 = 10 - 8{,}31 = 1{,}69 \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{Uce = 1{,}69\ V}$$

Parametrii caracteristici punctului static de funcționare al tranzistorului sunt:

$$\boldsymbol{Ib = 9\ \mu A} \ ; \quad \boldsymbol{Ic = 2{,}52\ mA} \ ; \quad \boldsymbol{Uce = 1{,}69\ V}$$

b. Pentru determinarea regimului de funcționare se determină tensiunile în Emitor, Bază, Colector și se observă cum sunt polarizate joncțiunile BE și BC.

Deoarece emitorul tranzistorului este conectat la ”masa” montajului ⇒ ***Ue = 0***

Dacă ***Ue=0*** ⇒ ***Uc = Uce = 1,69 V*** și ***Ub = Ube = 0,6 V***

$$\boldsymbol{Ue = 0\ V} \ ; \quad \boldsymbol{Ub = 0{,}6\ V} \ ; \quad \boldsymbol{Uc = 1{,}69\ V}$$

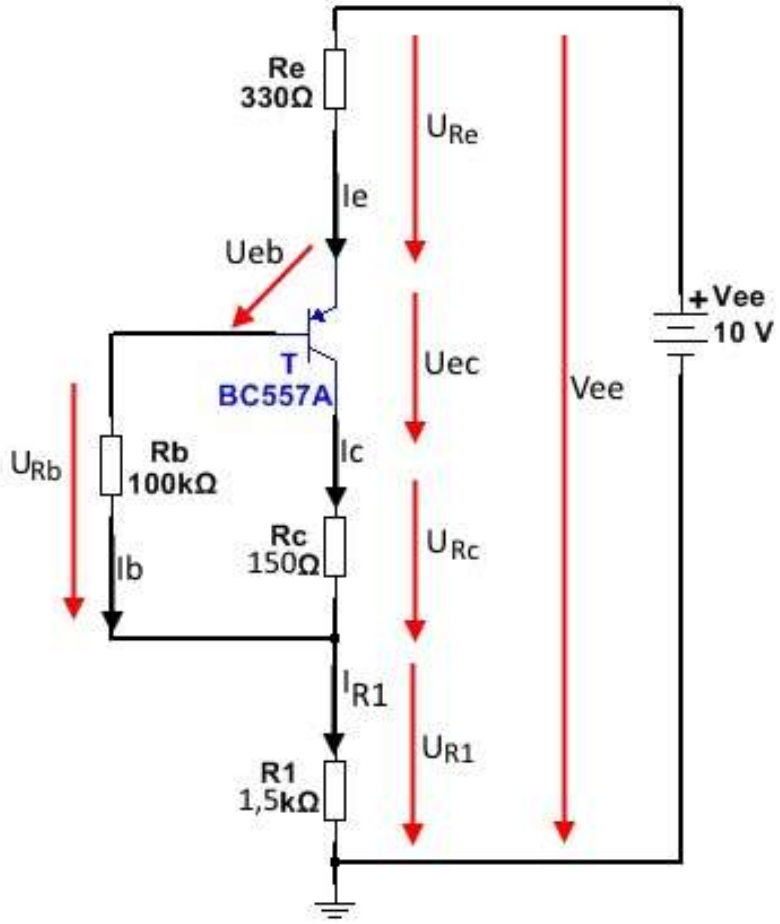
Deoarece $\boldsymbol{Ub > Ue}$ ⇒ joncțiunea bază-emitor este polarizată direct

Deoarece $\boldsymbol{Ub < Uc}$ ⇒ joncțiunea bază-colector este polarizată invers

Tranzistorul funcționează în regim activ normal deoarece joncțiunea bază-emitor este polarizată direct iar joncțiunea bază-colector este polarizată invers.

PROBLEMA 8.

În circuitul din figura 5.61 se cunosc valorile: $Ube = 0,7\,V$ *și* $\beta = 230$



Se cere:

a. Valorile parametrilor ce caracterizează punctul static de funcționare al tranzistorului.

b. Să se determine regimul de funcționare al tranzistorului.

Figura 5.61 Tranzistor bipolar PNP polarizat cu reacție în colector

REZOLVARE

a. Parametrii care caracterizează PSF sunt: ***Ib, Ic, Uce***.

Pe ochiul format de : ***Vee, U_{Re}, Ueb, U_{Rb}, U_{R1}*** se aplică T2 Kirchhoff:

$$Vee = U_{Re} + Ueb + U_{Rb} + U_{R1} \quad \Rightarrow U_{Re} + U_{Rb} + U_{R1} = Vcc - Ueb \quad (\mathbf{1})$$

Aplicând T1 Kirchhoff în nodul dintre ***Rc*** și ***R1*** $\Rightarrow I_{R1} = Ic + Ib \quad (\mathbf{2})$

$$U_{Re} = Re \cdot Ie \;;\; U_{Rb} = Rb \cdot Ib \;;\; U_{R1} = R1 \cdot I_{R1} = R1 \cdot (Ic + Ib) \quad (\mathbf{3})$$

$$Ic = \beta \cdot Ib \quad ; \quad Ie = (\beta + 1) \cdot Ib \quad (\mathbf{4})$$

Înlocuind relațiile **(3)** și **(4)** în relația **(1)** se obține:

$$Re \cdot (\beta + 1) \cdot Ib + Rb \cdot Ib + R1 \cdot (\beta \cdot Ib + Ib) = Vcc - Ueb \quad (\mathbf{5})$$

$$Ib \cdot [Re \cdot (\beta + 1) + Rb + R1 \cdot (\beta + 1)] = Vcc - Ueb \quad (\mathbf{6})$$

$$Ib = \frac{Vcc - Ueb}{Re \cdot (\beta + 1) + Rb + R1 \cdot (\beta + 1)} \quad (\mathbf{7})$$

$$Ib = \frac{10V - 0{,}7V}{330\Omega \cdot (230+1) + 100K\Omega + 1{,}5K\Omega \cdot (230+1)}$$

$$Ib = \frac{9{,}3}{330 \cdot 231 + 100000 + 1500 \cdot 231} = \frac{9{,}3}{76230 + 100000 + 346500}$$

$$Ib = \frac{9{,}3}{522730} = 0{,}0000177\ A = 17{,}7\ \mu A \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{Ib = 17{,}7\ \mu A}$$

Înlocuind valoarea lui ***Ib*** în relațiile **(4)** și **(2)** se obține:

$$Ic = 230 \cdot 17{,}7\mu A = 4071\ \mu A = 4{,}07\ mA \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{Ic = 4{,}07\ mA}$$

$$Ie = (230+1) \cdot 17{,}7\mu A = 4089\ \mu A = 4{,}09\ mA \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{Ie = 4{,}09\ mA}$$

$$I_{R1} = 4{,}07\ mA + 17{,}7\ \mu A = 4{,}08\ mA \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{I_{R1} = 4{,}08\ mA}$$

Pe ochiul format de : ***Vee, U_{Re}, Uec, U_{Rc}, U_{R1}*** se aplică T2 Kirchhoff:

$$Vee = U_{Re} + Uec + U_{Rc} + U_{R1} \quad \Rightarrow \quad Uec = Vee - (U_{Re} + U_{Rc} + U_{R1}) \quad (\mathbf{8})$$

$$Uec = 10V - (330\Omega \cdot 4{,}09mA + 150\Omega \cdot 4{,}07\text{mA} + 1{,}5K\Omega \cdot 4{,}08\text{mA})$$

$$Uec = 10 - (330 \cdot 4{,}09 \cdot 10^{-3} + 150 \cdot 4{,}07 \cdot 10^{-3} + 1{,}5 \cdot 10^{3} \cdot 4{,}08 \cdot 10^{-3})$$

$$Uec = 10 - (1{,}35 + 0{,}61 + 6{,}12) = 10 - 8{,}08 = 1{,}93 \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{Uec = 1{,}92\ V}$$

Parametrii caracteristici punctului static de funcționare al tranzistorului sunt:

$$\boldsymbol{Ib = 17{,}7\ \mu A} \ ; \quad \boldsymbol{Ic = 4{,}07\ mA} \ ; \quad \boldsymbol{Uec = 1{,}92\ V}$$

b. Pentru determinarea regimului de funcționare se determină tensiunile în Emitor, Bază, Colector și se observă cum sunt polarizate joncțiunile EB și EC.

$$Uc = U_{Rc} + U_{R1} \ ; \ Ue = Vee - U_{Re} \ ; \ Ub = Ue - Ueb \quad (\mathbf{9})$$

$$Ue = 10 - 1{,}35 = 8{,}65 \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{Ue = 8{,}65\ V}$$
$$Ub = 8{,}65 - 0{,}7 = 7{,}95 \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{Ub = 7{,}95\ V}$$
$$Uc = 0{,}61 + 6{,}12 = 6{,}73\ V \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{Uc = 6{,}73\ V}$$

Deoarece $\boldsymbol{Ue > Ub}$ $\Rightarrow$ joncțiunea emitor-bază este polarizată direct
Deoarece $\boldsymbol{Uc < Ub}$ $\Rightarrow$ joncțiunea colector-bază este polarizată invers

Tranzistorul funcționează în regim activ normal.

5.6. FORMULE DE BAZĂ UTILIZATE ÎN CIRCUITELE CU TRANZISTOARE

Formule utilizate în circuite cu tranzistoare de tip NPN cu emitorul comun.

$$(1)\ I_E = I_C + I_B \qquad (2)\ I_C = \beta \cdot I_B \qquad (3) I_E = (\beta + 1) \cdot I_B$$

$$(4)\ I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \qquad (5)\ I_{C(max)} = \frac{P_{D(max)}}{V_{CE}}$$

$$(6)\ I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C} \qquad (7)\ I_{B(min)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta}$$

$$(8)\ V_{BE} = (0,6 \ldots . 0,7)\ V \qquad (9)\ V_{CE(blocare)} = V_{CC}$$

$$(10)\ V_{CE} = V_{CC} - R_C \cdot I_C - R_E \cdot I_E \qquad (11)\ V_{CB} = V_{CE} - V_{BE}$$

Formule utilizate în circuite de polarizare a bazei din Vcc.

$$(12)\ V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C$$

$$(13)\ I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{Rb}$$

$$(14)\ I_C = \beta_{CC} \cdot \left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{Rb}\right)$$

Formule utilizate în circuite de polarizare a bazei prin divizor de tensiune.

$$(15)\ V_B = \left(\frac{Rb2}{Rb1 + Rb2)}\right) \cdot V_{CC} \qquad (16)\ V_B = V_{BE} + V_{R_E}$$

$$(17)\ I_C \cong I_E = \frac{V_B - V_{BE}}{R_E}$$

$$(18)\ V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot (Rc + Re) \qquad (19)\ V_C = V_{CC} - R_C \cdot I_C$$

$$(20)\ I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \qquad (21)\ V_{CE(blocare)} = V_{CC}$$

Formule utilizate în circuite de polarizare cu două surse de tensiune.

$$(22)\ I_C \cong I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_B}{\beta_{CC}}}$$

$$(23)\ V_{CE} = V_{CC} + V_{EE} - I_C(R_C + R_E)$$

$$(24)\ V_E = -V_{EE} + I_E \cdot R_E$$

$$(25)\ V_B = V_E + V_{BE}$$

$$(26)\ V_C = V_{CC} - I_C \cdot R_C$$

$$(27)\ I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{EE}}{R_C + R_E}$$

$$(28)\ V_{CE(blocare)} = V_{CC} + V_{EE}$$

Formule utilizate în circuite de polarizare cu reacție în colector.

$$(29)\ Ib = \frac{Vcc - Ube}{Rc \cdot \beta + Rb}$$

$$(30)\ Ic = \frac{Vcc - Ube}{Rc + \frac{Rb}{\beta}} \qquad (31)\ I_C = \beta \cdot I_B$$

$$(32)\ Uce = Vcc - Rc \cdot Ic$$

REZUMATUL CAPITOLULUI.

- Termenul ***"bipolar"*** asociat tranzistorului, indică faptul că în structura internă a tranzistorului sunt două tipuri de purtători de sarcină: electroni liberi și goluri;
- Tranzistorul bipolar este realizat din 3 regiuni: baza, emitorul și colectorul și două joncțiuni pn: joncțiunea bază-emitor și joncțiunea bază-colector.
- În funcție de numărul de regiuni identice tranzistoarele bipolare se împart în două mari categorii: tranzistoare npn (cu două regiuni n și o regiune p) și tranzistoare pnp (cu două regiuni p și o regiune n).
- Tranzistorul bipolar lucrează în regim de amplificator dacă joncțiunea bază-emitor este polarizată direct iar joncțiunea bază-colector este polarizată invers.
- Tranzistorul bipolar lucrează în regim de comutator electronic (blocare și saturație) dacă ambele regiuni sunt polarizate identic.
- Tranzistorul este saturat (se comportă ca un întrerupător închis) dacă ambele joncțiuni sunt polarizate direct. În această situație curentul prin tranzistor este maxim iar tensiunea între colector și emitor este minimă.
- Tranzistorul este blocat (se comportă ca un întrerupător deschis) dacă ambele joncțiuni sunt polarizate invers. În această situație prin tranzistor nu circulă curent iar tensiunea între colector și emitor este maximă.
- Tranzistorul bipolar este caracterizat de trei curenți: curentul de bază (**Ib**), curentul de emitor (**Ie**) și curentul de colector (**Ic**).
- Curentul de bază este foarte mic în comparație cu curentul de colector și curentul de emitor (curenți care sunt aproximativ egali $\boldsymbol{I_B} \cong \boldsymbol{I_C}$).
- Raportul dintre curentul de colector (curent de ieșire) și curentul de bază (curent de intrare) se numește câștigul în curent continuu al tranzistorului și se notează cu $\boldsymbol{\beta_{cc}}$. ($\boldsymbol{\beta_{cc}} = \frac{\boldsymbol{I_C}}{\boldsymbol{I_B}}$). În foile de catalog pentru tranzistoare pentru β_{cc} se utilizează notația h_{FE}.
- Raportul dintre curentul de colector și curentul de emitor se numește factor de amplificare în curent din emitor în colector și se notează cu $\boldsymbol{\alpha_{cc}}$. $\boldsymbol{\alpha_{cc}} = \frac{\boldsymbol{I_E}}{\boldsymbol{I_B}}$.

- Tranzistorul bipolar poate fi conectat în circuit în trei configurații de bază:
  - Conexiunea emitor comun;
  - Conexiunea bază comună;
  - Conexiunea colector comun.

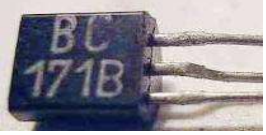
  Prin termenul **"comun"** se defineşte terminalul care este comun atât intrării cât şi ieşirii. Acest terminal se conectează la "masa" montajului.
- Caracteristicile statice ale unui tranzistor sunt grafice ce reprezintă dependenţa dintre curenţii ce trec prin terminalele tranzistorului şi tensiunile ce se aplică la aceste terminale. Sunt patru familii de caracteristici:
  - $I_{IEŞ} = f(U_{IEŞ})$ la I_{INT} = constant – caracteristici de ieşire;
  - $U_{INT} = f(I_{INT})$ la $U_{IEŞ}$ = constant – caracteristici de intrare;
  - $I_{IEŞ} = f(I_{INT})$ la $U_{IEŞ}$ = constant – caracteristici de transfer a curentului;
  - $U_{INT} = f(U_{IEŞ})$ la I_{INT} = constant – caracteristici de reacţie inversă după tensiune.
- Cea mai importantă caracteristică este ***caracteristica de ieșire*** deoarece pe această caracteristică se pot delimita regiunile de funcţionare a tranzistorului şi se poate trasa dreapta de sarcină.
- Pe caracteristica de ieșire se disting trei regiuni:
  - Regiunea de saturație – tranzistorul funcționează în regim de saturație și este caracterizat prin curent de colector foarte mare și tensiune colector-emitor foarte mică;
  - Regiunea de blocare – tranzistorul funcționează în regim de blocare și este caracterizat prin curent de colector foarte mic și tensiune colector-emitor foarte mare;
  - Regiune activă normală – tranzistorul funcționează în regim activ normal și este caracterizat prin curent de colector mare și tensiune colector-emitor mică;
- Pe graficul caracteristicii de ieșire dacă se uneşte punctul de blocare (V_{CC}) cu punctul de saturaţie ($I_{C(sat)}$) se obţine dreapta de sarcină în curent continuu.
- La intersecţia unei caracteristici de ieşire cu dreapta de sarcină se află punctul static de funcţionare (PSF).

- Pentru obținerea unui PSF stabil se utilizează patru tipuri de circuite de polarizare:
    - Circuit cu baza polarizată din Vcc – prezintă o stabilitate redusă deoarece PSF variază cu β_{cc} ;
    - Circuit cu emitorul polarizat din sursă separată – are PSF stabil dar necesită două surse de alimentare;
    - Circuit de polarizare a bazei cu divizor de tensiune – oferă un PSF stabil și este configurația de polarizare cea mai utilizată;
    - Circuit de polarizare cu reacție în colector – are PSF stabil datorită reacției negative din colector în bază.
- PSF se află pe dreapta de sarcină iar coordonatele acestuia sunt definite de anumite valori ale curentului de colector **Ic** și tensiunii colector-emitor $\mathbf{U_{CE}}$.
- Pentru determinarea coordonatelor PSF, în circuitul de polarizare se aplică teoremele lui Kirchhoff și se utilizează formulele caracteristicilor electrice ale tranzistorului pentru calcularea mărimilor **Ic** și $\mathbf{U_{CE}}$.
- Pentru identificarea terminalelor tranzistorului bipolar se parcurg 3 etape:
    - ***în prima etapă se identifică baza tranzistorului***;
    - ***în a doua etapă se identifică tipul tranzistorului***;
    - ***în a treia etapă se identifică Emitorul şi Colectorul***.
- Identificarea terminalelor se poate face cu ajutorul unui multimetru digital prin măsurarea rezistenței electrice a joncțiunilor tranzistorului bipolar.
- Identificarea terminalelor tranzistorului bipolar se poate face și în funcție de tipul capsulei utilizând cataloage cu tranzistoare.

EVALUAREA CUNOȘTINȚELOR

I Încercuiește varianta sau variantele de răspuns corectă.

1. Dintre cele trei regiuni ale tranzistorului regiunea cea mai puternic dopată este:
   a. Regiunea emitorului;
   b. Regiunea bazei;
   c. Regiunea colectorului.
2. Dintre cele trei regiuni ale tranzistorului regiunea cea mai subțire este:
   a. Regiunea emitorului;
   b. Regiunea bazei;
   c. Regiunea colectorului.
3. La tranzistorul din imagine terminalul din partea de sus este:
   a. Baza;
   b. Colectorul;
   c. Emitorul.



4. La tranzistorul din imagine terminalul din mijloc este:
   a. Baza;
   b. Colectorul;
   c. Emitorul.

5. La tranzistorul de putere 2N3055 terminalul conectat la capsula metalică este:
   a. Baza;
   b. Colectorul;
   c. Emitorul.
6. La o un tranzistor cu siliciu, valoarea tipică a tensiunii de polarizare directă a joncțiunii bază-emitor este:
   a. Între 0,2V și 0,3 V;
   b. Între 0,6 V și 0,7 V;
   c. În jurul valorii de 1,4 V.
7. Un tranzistor funcționează ca amplificator dacă joncțiunile sale sunt polarizate astfel:
   a. BE direct și BC invers;
   b. BE invers și BC direct;
   c. BE direct și BC direct;
   d. BE invers și BC invers.

8. Un tranzistor când lucrează în blocare / saturație se comportă ca un:

a. Rezistor variabil;

b. Condensator variabil;

c. Amplificator;

d. Comutator.

9. În regim de saturație:

a. Tensiunea emitor-colector este minimă;

b. Tensiunea emitor colector este maximă;

c. Curentul de colector este minim;

d. Curentul de colector este maxim.

10. Parametrul β_{CC} al tranzistorului reprezintă:

a. Câștigul în tensiune;

b. Câștigul în curent;

c. Câștigul în putere.

11. Într-un montaj cu tranzistor în conexiunea emitor comun (EC), tensiunea între colector și emitor (U_{CE}) este:

a. Mărime de intrare;

b. Mărime de transfer;

c. Mărime de ieșire.

12. Un montaj cu tranzistor în conexiunea colector comun (CC) se caracterizează prin:

a. Amplificare în curent unitară (1);

b. Amplificare în tensiune unitară (1);

c. Amplificare în curent mare (peste 10);

d. Amplificare în tensiune mare (peste 10).

13. Dacă joncțiunea bază-emitor a unui tranzistor se întrerupe, tensiunea în colectorul tranzistorului va fi:

a. 0 V;

b. 0,7 V;

c. V_{CC}.

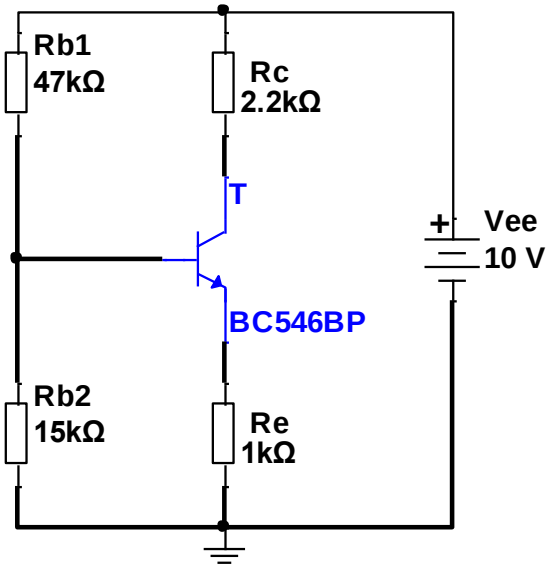
14. Într-un circuit de polarizare a unui tranzistor prin divizor de tensiune dacă se întrerupe rezistența dintre bază și V_{CC}, tensiunea în emitorul TB va fi:

a. 0 V;

b. 0,7 V;

c. V_{CC}.

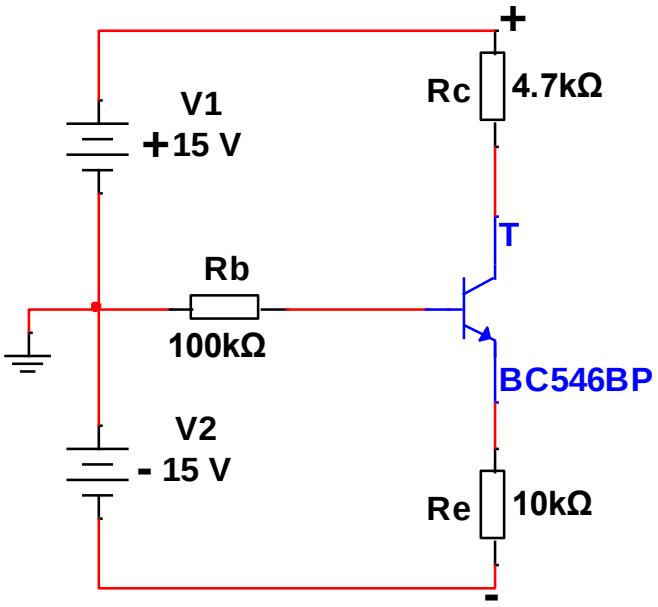
II. 1. Determinați valorile parametrilor ce caracterizează punctul static de funcționare al tranzistorului pentru circuitul din imaginea de mai jos dacă β_{CC} = 100 și U_{BE} =0,7V.



2. Pentru circuitul din imaginea de mai jos: β_{CC} = 300 și U_{BE} =0,6 V.

Se cere:

- **a.** Valorile parametrilor ce caracterizează punctul static de funcționare al tranzistorului.
- **b.** Să se determine regimul de funcționare al tranzistorului.



CAPITOLUL 6. TRANZISTOARE UNIPOLARE

6.1. TRANZISTOARE UNIPOLARE - GENERALITĂŢI

Spre deosebire de tranzistoarele bipolare, tranzistoarele unipolare utilizează un singur tip de purtători de sarcină (electroni sau goluri) care circulă printr-un canal semiconductor. Dacă la tranzistoarele bipolare controlul conductivităţii se realizează prin variaţia unui curent între emitor şi bază, la tranzistoarele unipolare controlul conductivităţii se realizează prin variaţia unei tensiuni aplicate unui electrod de comandă numit **grilă** sau **poartă** (cu rol asemănător bazei TB).

Tranzistoarele unipolare poartă numele de ***tranzistoare cu efect de câmp TEC (cunoscut şi sub numele FET – Field Effect Transistor)***.

Funcţionarea tranzistoarelor cu efect de câmp se bazează pe modificarea conductibilităţii unui canal realizat dintr-un material semiconductor prin aplicarea unui câmp electric creat de tensiunea aplicată electrodului de comandă (grilă sau poartă).

Controlul curentului electric de către un câmp electric se numeşte ***efect de câmp***.

Tranzistoarele cu efect de câmp au următoarele avantaje faţă de tranzistoarele bipolare :

- prezintă impedanţă de intrare foarte mare (deoarece sunt comandate în tensiune);
- pot fi utilizate ca rezistenţe comandate în tensiune;
- liniaritate bună a circuitului;
- zgomot redus;
- gabarit redus .

După modul de realizare a canalului (în volum sau la suprafaţă), tranzistoarele cu efect de câmp se împart în două categorii:

- tranzistoare cu efect de câmp **cu grilă joncţiune (TEC-J)**;
- tranzistoare cu efect de câmp **cu grilă izolată (TEC-MOS)**.

În funcţie de tipul de dopare al canalului, tranzistoarele **TEC-J** se împart în două categorii:

- TEC cu grilă joncţiune cu **canal n**;
- TEC cu grilă joncţiune cu **canal p**.

În funcţie de modul de realizare al canalului, tranzistoarele **TEC-MOS** se împart în două categorii:

- TEC cu grilă izolată cu **canal iniţial**;
- TEC cu grilă izolată cu **canal indus**.

Tranzistorul cu efect de câmp este un dispozitiv electronic cu trei terminale (unele tipuri au 4 terminale) care se numesc **Drenă, Sursă, Grilă sau Poartă, (Substrat).** Sursa şi drena sunt conectate la capetele canalului. **Sursa** furnizează purtătorii de sarcină iar **drena** colectează purtătorii de sarcină. Curentul care circulă între sursă şi drenă se numeşte **curent de drenă** şi se notează cu I_D. **Grila** controlează curentul de drenă în funcţie de tensiunea care se aplică între grilă şi sursă V_{GS}.

6.2. TRANZISTOARE CU GRILĂ JONCȚIUNE (TEC-J)

Tranzistoarele cu efect de câmp cu grilă joncţiune funcţionează numai cu joncţiunea grilă-sursă polarizată invers. TEC-J poate lucra și cu joncțiunea grilă-sursă polarizată direct cu condiția ca tensiunea de polarizare să fie sub 0,5 V altfel TEC-J se distruge.

6.2.1 Structurile de bază şi simbolurile dispozitivelor TEC-J

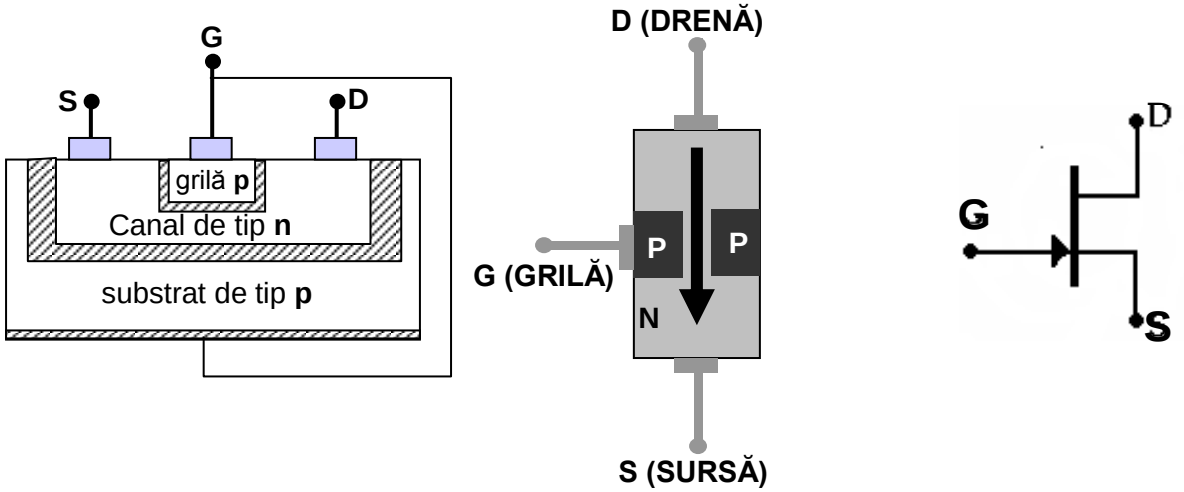


Figura 6.1 Structură şi simbol tranzistor TEC-J cu canal N

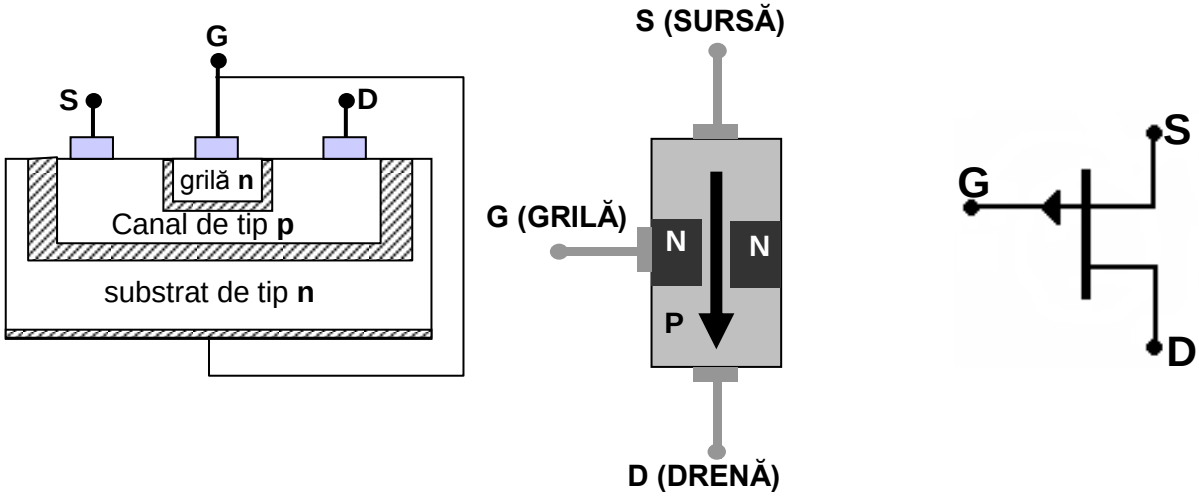


Figura 6.2 Structură şi simbol tranzistor TEC-J cu canal P

Elementele grafice ale simbolurilor au următoarele semnificaţii:

- săgeata este întotdeauna plasată pe grilă;
- săgeata este orientată întotdeauna de la **P** spre **N**;
- grila se plasează întotdeauna în dreptul sursei;
- TEC-J cu canal P sunt reprezentate inversat (cu sursa în sus) pentru ca sensul curentului de drenă $\mathbf{I_D}$ să fie reprezentat de sus în jos.

6.2.2 Încapsularea şi identificarea terminalelor dispozitivelor TEC-J.

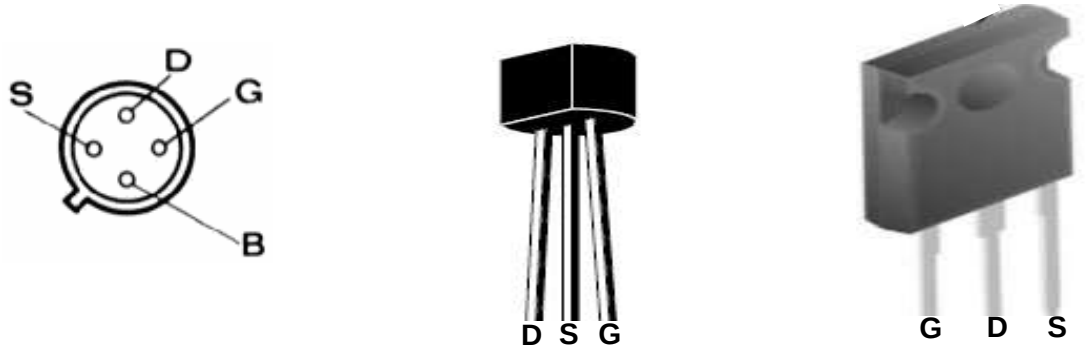


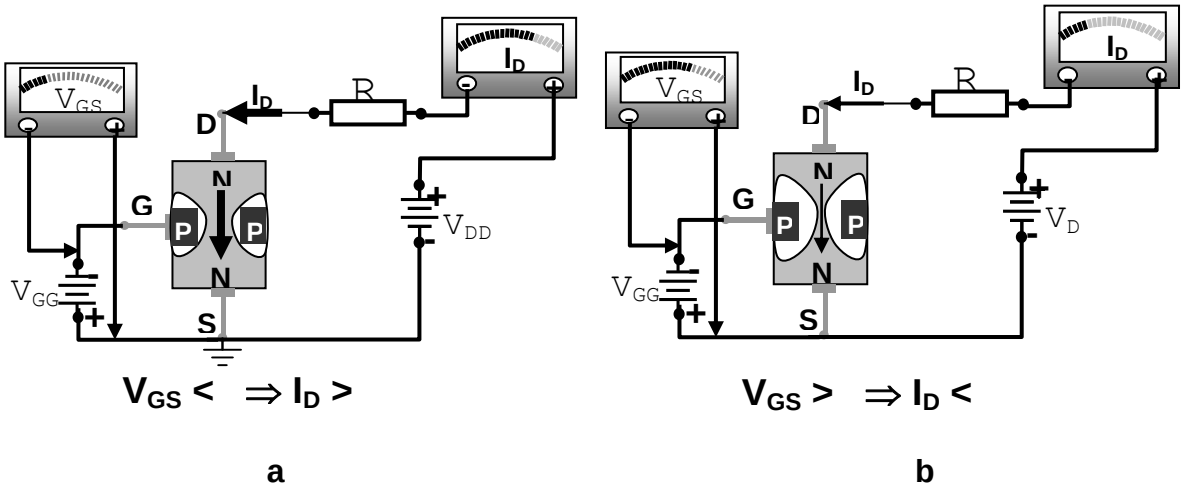
Figura 6.3 Dispunerea terminalelor la TEC-J

OBSERVAŢIE IMPORTANTĂ!

La unele tipuri de tranzistoare cu efect de câmp, terminalele pot fi dispuse altfel decât sunt prezentate în figura de mai sus chiar dacă capsulele sunt identice. Pentru identificarea corectă a terminalelor recomand utilizarea cataloagelor cu dispozitive TEC unde sunt prezentate dispunerea terminalelor.

6.2.3. Principiul de funcţionare al tranzistoarelor TEC-J.

În **figura 6.4** este prezentat modul de polarizare a unui TEC-J cu canal n.



a b

Figura 6.4 Polarizarea şi funcţionarea unui tranzistor TEC-J cu canal N

V_{GG} este tensiunea de comandă cu care se polarizează **invers** joncţiunea pn grilă-sursă. Polarizarea inversă a joncţiunii grilă-sursă cu tensiune negativă pe grilă, generează în jurul joncţiunii pn o regiune golită care se extinde în semiconductorul mai slab dopat, în zona canalului, mărindu-i rezistenţa prin îngustarea lui. Astfel, tranzistorul prezintă între grilă şi sursă o rezistenţă de intrare foarte mare. Din acest considerent curentul de grilă este foarte mic (de ordinul zecilor de nanoamperi) Lăţimea canalului, implicit rezistenţa lui, pot fi comandate prin modificarea tensiunii grilă-sursă.

V_{DD} este tensiunea dintre drenă şi sursă care furnizează curentul de drenă **I_D,** care circulă dinspre drenă spre sursă. Acest curent este comandat de tensiunea grilă-sursă.

Cu cât tensiunea grilă-sursă **U_{GG} este mai mare** cu atât canalul se îngustează şi valoarea curentului de drenă **I_D scade** (**figura 6.4 b**).

6.2.4. Caracteristicile tranzistoarelor cu efect de câmp cu grilă joncţiune.

Deoarece joncţiunea grilă-sursă este polarizată invers, aceste tranzistoare nu au caracteristică de intrare.

În cele ce urmează se vor prezenta **caracteristica de ieşire $I_D = f(V_{DS})$** şi **caracteristica de transfer $I_D = f(V_{GS})$** pentru tranzistorul **BC264** care are următoarele date de catalog:

- tensiunea drenă-sursă **V_{DS} = 15V**;
- tensiunea de blocare grilă-sursă **$V_{GS(blocare)}$ = – 5V**;

- **Tensiunea de blocare** - reprezintă valoarea tensiunii V_{GS} pentru care curentul $I_D \cong 0$;
- curentul de drenă maxim I_{DSS} **= 12 mA**.

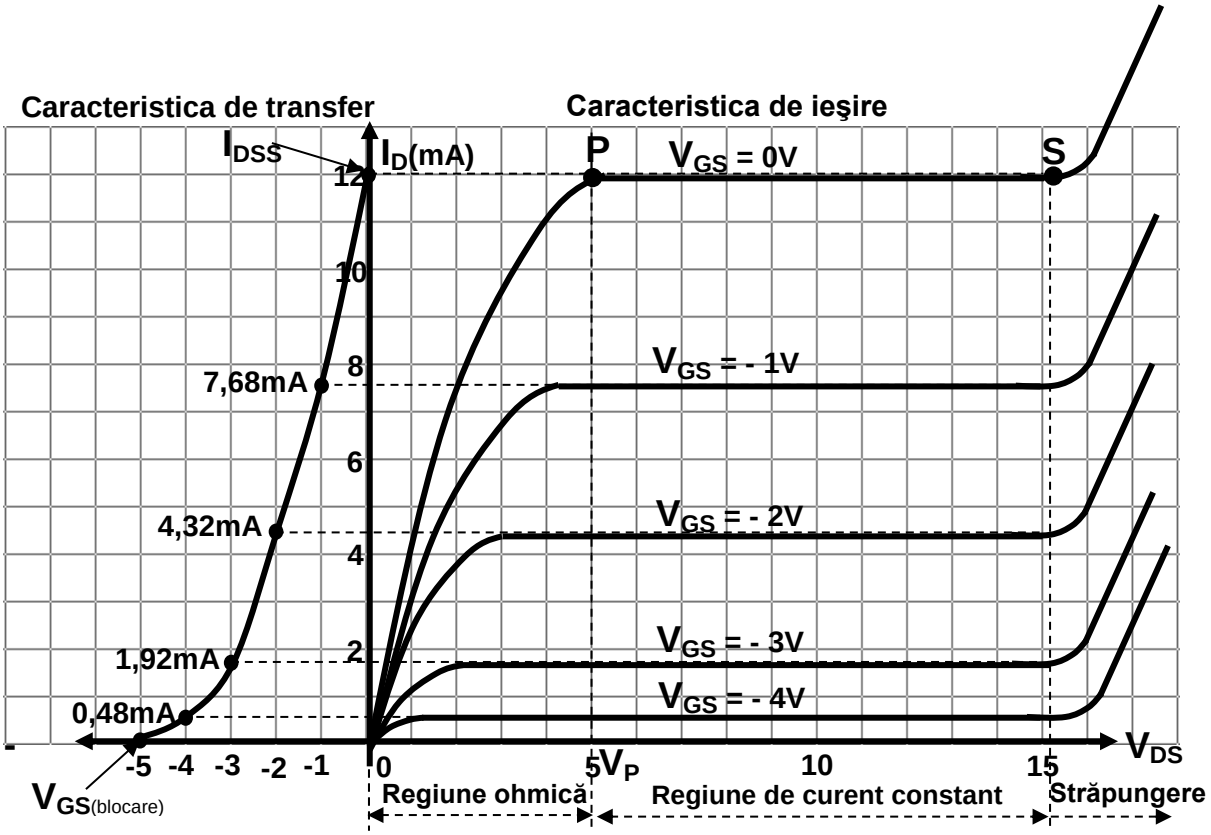


Figura 6.5 Graficele caracteristicilor de transfer şi ieşire unui TEC-J cu canal N

Pentru a trasa **graficul caracteristicii de transfer** trebuie determinate coordonatele I_D în funcţie de valorile $-V_{GS}$. Pentru determinarea lor se utilizează formula:

$$I_D = I_{DSS} \cdot (1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(blocare)}})^2$$

V_{GS} = 1 $\Rightarrow$ $I_D = 12 \cdot (1 - \frac{-1}{-5})^2 = 7,68mA$ **V_{GS} = 2** $\Rightarrow$ $I_D = 12 \cdot (1 - \frac{-2}{-5})^2 = 4,32mA$

V_{GS} = 3 $\Rightarrow$ $I_D = 12 \cdot (1 - \frac{-3}{-5})^2 = 1,92mA$ **V_{GS} = 4** $\Rightarrow$ $I_D = 12 \cdot (1 - \frac{-4}{-5})^2 = 0,48mA$

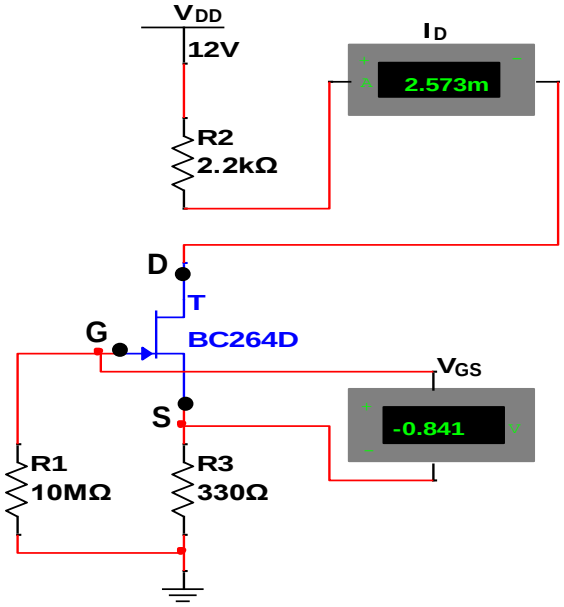
Pe **graficul de ieşire** întâlnim V_P care se numeşte **tensiune de strangulare**. Aceasta reprezintă valoarea tensiunii drenă-sursă de la care curentul de drenă începe să fie constant. V_P este întotdeauna egală în modul cu $V_{GS(blocare)}$ şi de semn opus cu aceasta.

Pe **graficul caracteristicii de ieşire** se pot observa regiunile în care lucrează un TEC-J.

6.2.5. Polarizarea tranzistoarelor TEC-J.

Prin polarizarea TEC-J se urmăreşte obţinerea unei tensiuni de comandă V_{GS} şi a unui curent de drenă I_D de valoare dorită, deci un PSF adecvat. În cele ce urmează se va trata numai polarizarea TEC-J cu canal **n**, deoarece sunt cele mai utilizate în practică.

a. POLARIZAREA AUTOMATĂ



La acest tip de polarizare joncţiunea grilă-sursă nu se polarizează de la o sursă de tensiune separată, ea va fi polarizată automat. Această polarizare se poate face cu configuraţia din **figura 6.6**.

Grila se conectează la "masa" montajului printr-un rezistor de valoare foarte mare pentru a izola faţă de „masă" semnalul de curent alternativ în circuitele de amplificare.

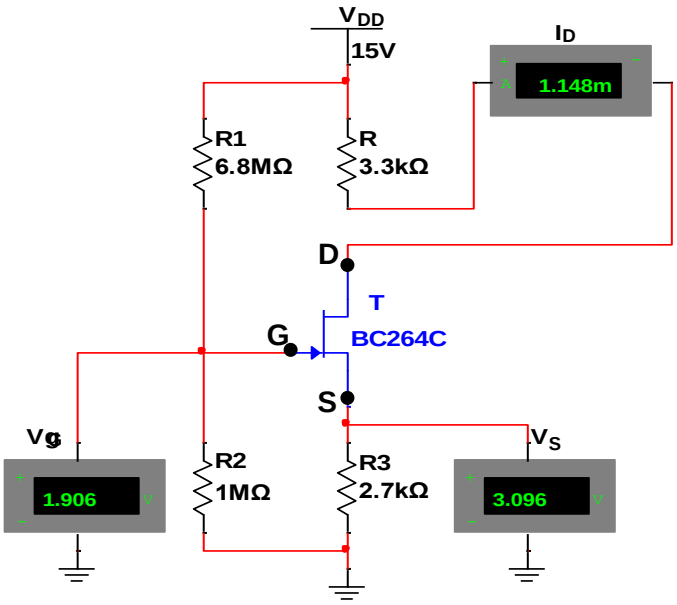
I_D = 2,573

$V_{GS} = V_G – V_S = 0 – 0,841 = - 0,841$

PSF(-0,84V ; 2,57mA)

Figura 6.6 Polarizarea automată a unui tranzistor TEC-J cu canal N

b. POLARIZAREA PRIN DIVIZOR DE TENSIUNE



La acest tip de polarizare joncţiunea grilă-sursă se polarizează invers prin intermediul unui divizor rezistiv de tensiune. Circuitul de polarizare este prezentat în **figura 6.7**.

I_D = 1,15mA

$V_{GS} = V_G - V_S = 1,91 - 3,09 = - 1,18V$

PSF(-1,18 ; 1,15)

Figura 6.7 Polarizarea prin divizor de tensiune a unui TEC-J cu canal N

6.3 TRANZISTOARE CU GRILĂ IZOLATĂ (TEC-MOS)

Structura TEC-MOS diferă de structura TEC-J prin faptul că **poarta (grila)** tranzistorului este izolată faţă de canal printr-un stat subţire de dioxid de siliciu (SiO_2). Datorită izolaţiei realizată de stratul de oxid, aceste tranzistoare au rezistenţa de intrare foarte mare (de ordinul 10^{15} Ω) şi curentul de grilă extrem de mic (de ordinul 10^{-15} A).

În funcţie de modul de funcţionare sunt două categorii de TEC-MOS:

- **TEC-MOS cu canal iniţial** – la acest tip de tranzistoare canalul este întotdeauna prezent fiind realizat prin mijloace tehnologice;
- **TEC-MOS cu canal indus** – la acest tip de tranzistoare canalul apare în condiţiile în care tranzistorul este polarizat corespunzător.

6.3.1. Structurile de bază şi simbolurile dispozitivelor TEC-MOS.

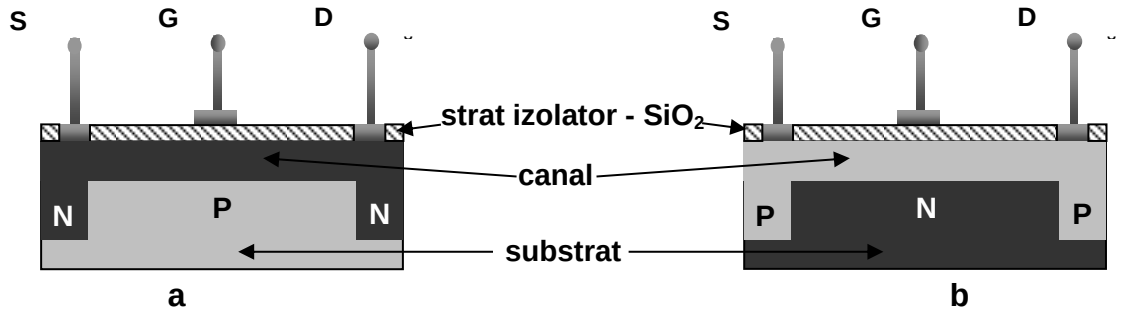


Figura 6.8 Structură TEC-MOS cu canal iniţial a. canal n b. canal p

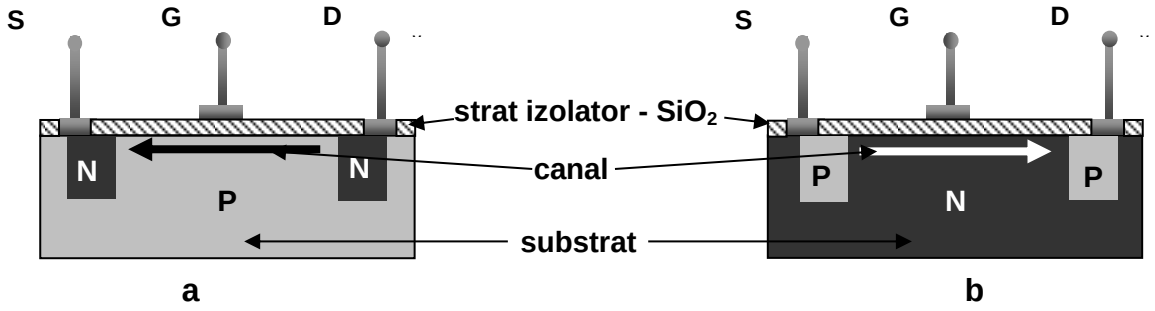


Figura 6.9 Structură TEC-MOS cu canal indus a. canal n b. canal p

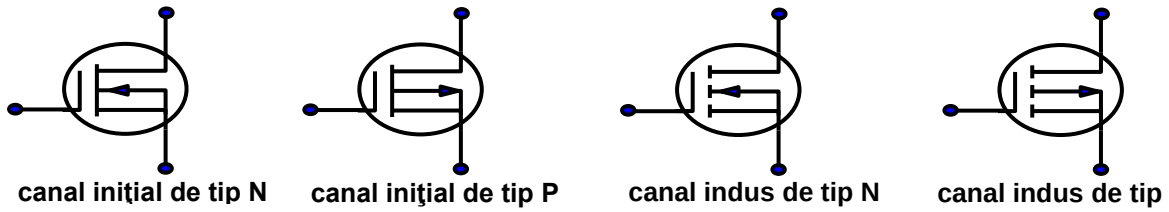


Figura 6.10 Simboluri grafice pentru TEC-MOS

6.3.2. Principiul de funcţionare al dispozitivelor TEC-MOS.

a. Funcţionarea unui dispozitiv TEC-MOS cu canal iniţial N

Un TEC-MOS, în funcţie de modul de polarizare al grilei, poate lucra în **regim de sărăcire** sau în **regim de îmbogăţire**. Dacă **tensiunea** aplicată **pe grilă este negativă** tranzistorul lucrează în **regim de sărăcire** (**fig.6.11 a**), iar dacă **tensiunea** aplicată **pe grilă este pozitivă** tranzistorul lucrează în **regim de îmbogăţire** (**fig.6.11 b**).

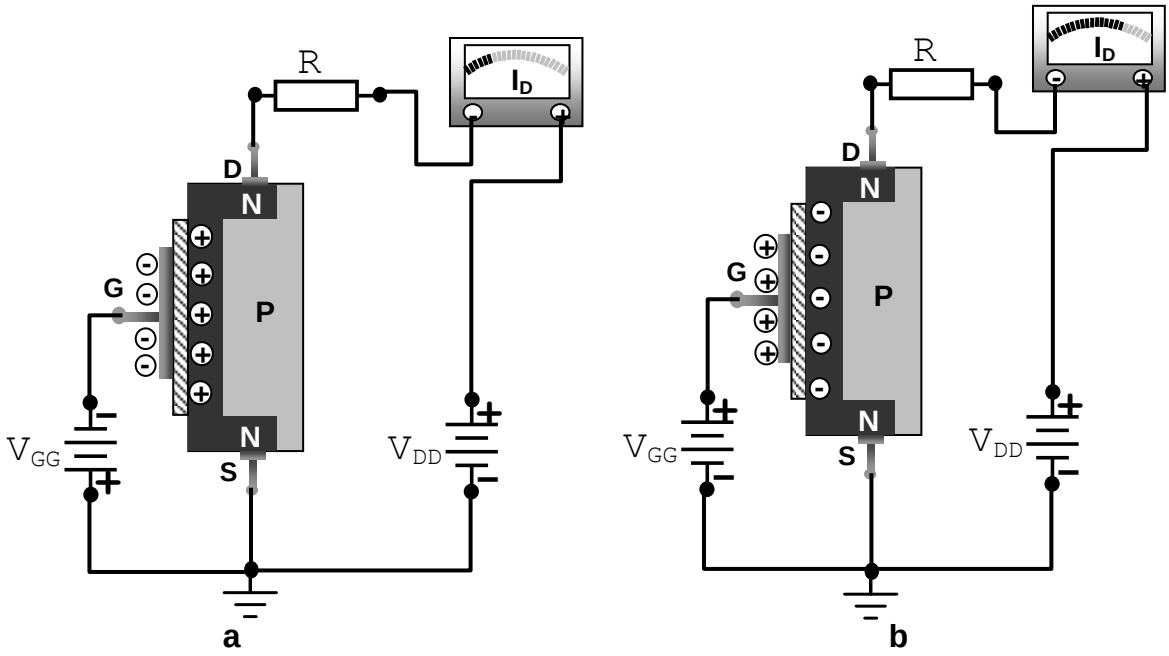


Figura 6.11 Funcţionarea unui TEC-MOS cu canal iniţial N

Dacă pe grilă se aplică o tensiune negativă, sarcinile negative de pe grilă îndepărtează electronii de conducţie din canalul n, care vor lăsa în urma lor goluri. Deoarece canalul rămâne sărăcit în electroni, conductivitatea lui scade, ceea ce duce la scăderea intensităţii curentului de drenă $\mathbf{I_D}$. Cu cât creşte tensiunea $\mathbf{V_{GG}}$ cu atât scade curentul $\mathbf{I_D}$**,** până ce canalul se goleşte complet şi curentul $\mathbf{I_D}$ devine nul (**figura 6.11 a**).

Dacă pe grilă se aplică o tensiune pozitivă, sarcinile pozitive de pe grilă atrag electronii de conducţie din canalul n. Deoarece canalul se îmbogăţeşte în electroni, conductivitatea lui creşte, ceea ce duce la creşterea intensităţii curentului de drenă $\mathbf{I_D}$. Cu cât creşte tensiunea $\mathbf{V_{GG}}$ cu atât creşte curentul $\mathbf{I_D}$ (**figura 6.11 b**).

În cazul TEC-MOS cu canal iniţial P, tranzistoarele funcţionează în mod similar, cu excepţia faptului că polaritătile tensiunilor sunt inversate.

În cele mai multe cazuri, aceste tranzistoare sunt utilizate în **regim de sărăcire**.

b. Funcţionarea unui dispozitiv TEC-MOS cu canal indus

La aceste tranzistoare canalul de conducţie nu este realizat constructiv (**figura 6.12 a**). Canalul de conducţie este indus dacă tranzistorul este polarizat corect cu o tensiune grilă-sursă mai mare decât tensiunea de prag (**figura 6.12 b**).

TEC-MOS cu canal indus lucrează numai în regim de îmbogăţire.

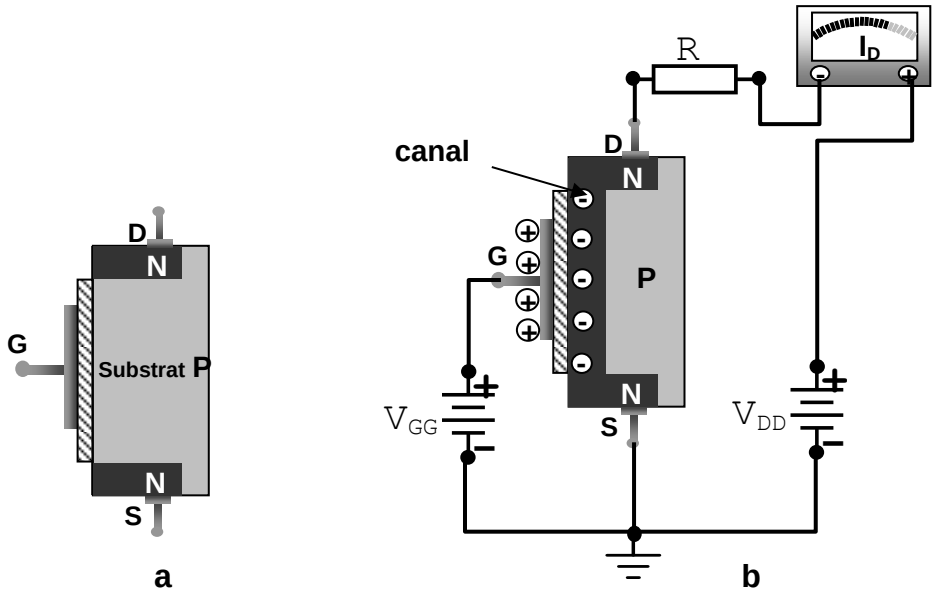


Figura 6.12 Funcţionarea unui TEC-MOS cu canal indus N

Dacă pe grila tranzistorului se aplică o tensiune pozitivă mai mare decât tensiunea de prag, aceasta generează pe suprafaţa substratului un strat subţire de sarcini negative în regiunea de substrat din vecinătatea grilei. Astfel se induce un canal între drenă şi sursă a cărui conductivitate creşte odată cu creşterea tensiunii grilă-sursă. Cu cât creşte tensiunea $\mathbf{V_{GG}}$ cu atât creşte curentul $\mathbf{I_D}$ (**figura 6.12 b**).

Un TEC-MOS obişnuit are canalul de conducţie îngust şi lung ceea ce duce la o rezistenţă drenă-sursă mare. Acest lucru limitează utilizarea tranzistoarelor în circuite de curenţi mici. Pentru utilizarea tranzistoarelor în circuite de putere trebuie modificate din construcţie dimensiunile şi forma canalului. Prin lărgirea şi scurtarea canalului, rezistenţa lui scade, permiţând obţinerea unor tensiuni şi curenţi mai mari.

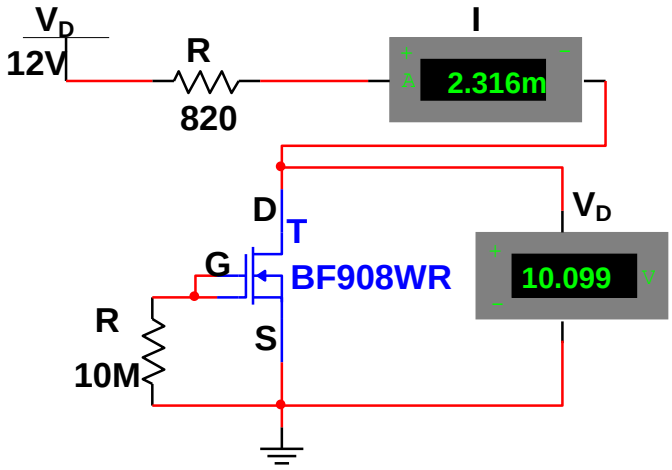
Precauţii la manevrarea TEC-MOS

Dispozitivele TEC-MOS se pot distruge foarte uşor datorită descărcărilor electrostatice. Pentru a prevenii această situaţie trebuie luate următoarele măsuri de precauţie:

- dispozitivele TEC-MOS trebuie păstrate în ambalaj din material antistatic cu terminalele scurtcircuitate cu staniol sau un conductor metalic subţire;
- scurtcircuitul dintre terminale se îndepărtează numai după ce tranzistorul a fost lipit;
- nu este permisă aplicarea unui semnal de intrare pe grila tranzistorului dacă circuitul în care este acesta nu este alimentat în curent continuu.

6.3.3 Polarizarea dispozitivelor TEC-MOS.

a. Polarizarea dispozitivelor TEC-MOS cu canal iniţial N

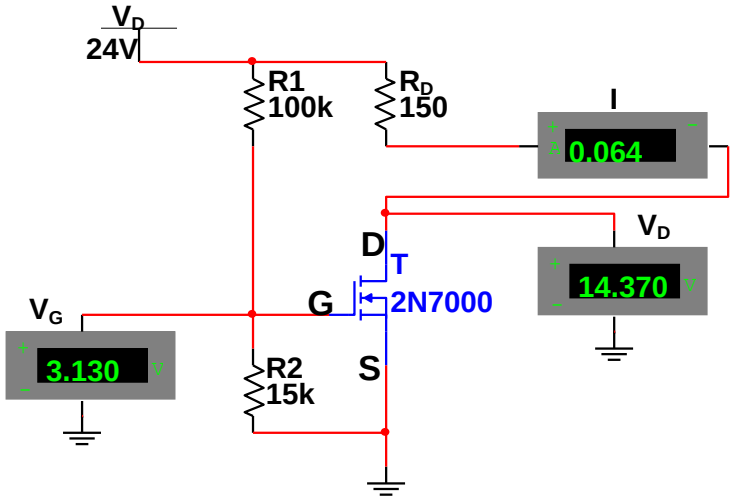


Tranzistorul **BF908WR** are două grile deoarece are un canal iniţial şi un canal indus.

$$V_{DS} = V_{DD} - R_D \cdot I_D$$

Figura 6.13 Polarizare la zero a unui dispozitiv TEC-MOS cu canal iniţial N

b. Polarizarea dispozitivelor TEC-MOS cu canal indus N



Date de catalog **2N7000:**

$V_{GS(prag)}$ = 2 V

$I_{D(cond)}$=75mA la V_{GS}= 4,5V

$I_{D(cond)}$=500mA la V_{GS}=10V

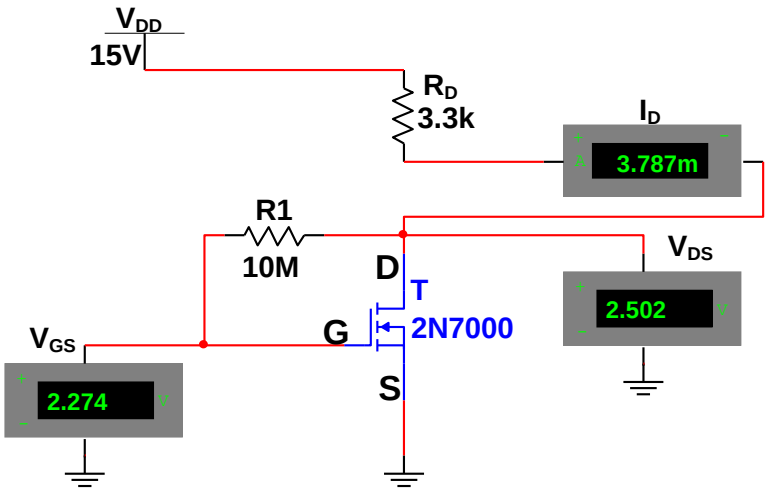
Valori obţinute cu simulatorul MULTISIM:

V_{GS} = 3,13 V

I_D = 64 mA

V_{DS} = 14,37 V

Figura 6.14 Polarizare prin divizor de tensiune a unui TEC-MOS cu canal indus N



Valori obţinute cu simulatorul MULTISIM:

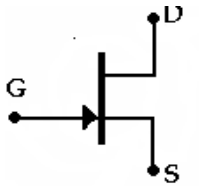
V_{GS} = 2,27 V

I_D = 3,78 mA

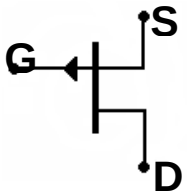
Figura 6.15 Polarizare cu reacţie în drenă a unui TEC-MOS cu canal indus N

REZUMATUL CAPITOLULUI.

- Terminalele tranzistorului unipolar sau cu efect de câmp se numesc : ***drenă, grilă (poartă), sursă***. Unele tipuri de TEC mai au un terminal care se numește ***substrat***.
- Funcționarea TEC se bazează pe modificarea curentului printr-un canal semiconductor prin variația unei tensiuni aplicate unui electrod de comandă numit ***grilă*** sau ***poartă***.
- ***Efectul de câmp*** reprezintă controlul curentului electric de către câmpul electric.
- Tranzistoarele unipolare se împart în două mari categorii:
  - TEC cu grilă joncțiune (**TEC-J**) – care au canalul semiconductor realizat în volum;
  - TEC cu grilă izolată (**TEC-MOS**) – care au canalul semiconductor realizat la suprafață.
- În funcţie de tipul de dopare al canalului, tranzistoarele **TEC-J** se împart în două categorii:
  - TEC cu grilă joncţiune cu **canal n**;
  - TEC cu grilă joncţiune cu **canal p**.
- Tranzistoarele cu efect de câmp cu grilă joncţiune **TEC-J** funcţionează numai cu joncţiunea grilă-sursă polarizată invers.
- Simbolurile dispozitivelor TEC-J:



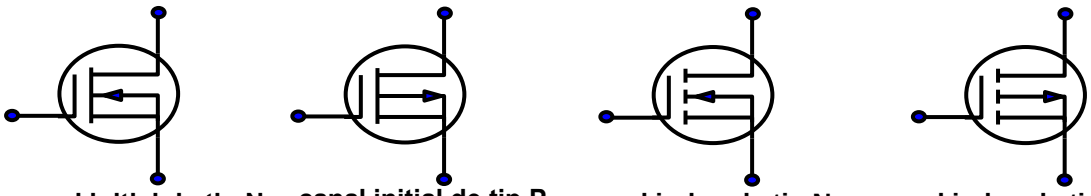
TEC-J cu canal N



TEC-J cu canal P

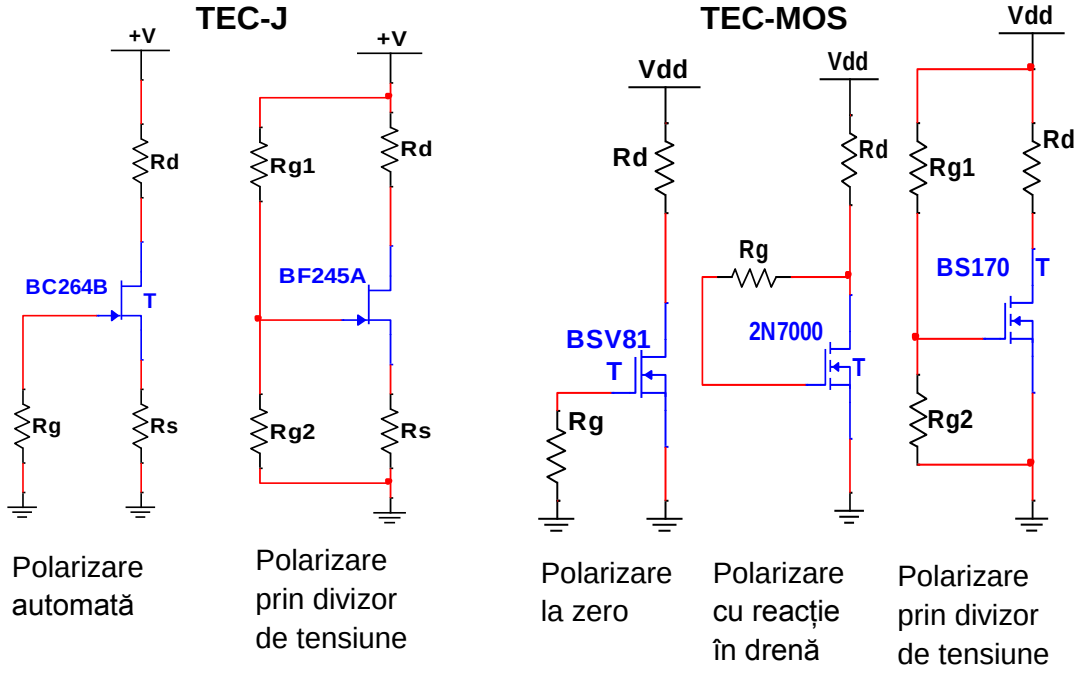
- La simbolul grafic săgeată este întotdeauna plasată pe ***grilă*** în dreptul ***sursei*** și este orientată întotdeauna de la **P** spre **N**.
- Tranzistoarele **TEC-MOS** au grila izolată față de canalul semiconductor printr-un start de dioxid de siliciu (de unde denumirea ***M****etal* ***O****xid* ***S****emiconductor*).

- În funcţie de modul de funcţionare sunt două categorii de TEC-MOS:
  - **TEC-MOS cu canal iniţial** – la acest tip de tranzistoare canalul este întotdeauna prezent fiind realizat prin mijloace tehnologice.
  - **TEC-MOS cu canal indus** – la acest tip de tranzistoare canalul apare în condiţiile în care tranzistorul este polarizat corespunzător.
- Simbolurile dispozitivelor **TEC-MOS**:



canal iniţial de tip N **canal iniţial de tip P** **canal indus de tip N** **canal indus de tip p**

- Dispozitivul ***TEC-MOS cu canal inițial*** **N** funcționează în ***regim de îmbogățire*** dacă pe ***grilă*** se aplică o ***tensiune pozitivă*** și în ***regim de sărăcire*** dacă pe ***grilă*** se aplică o ***tensiune negativă***.
- Dispozitivul ***TEC-MOS cu canal inițial*** **P** funcționează în ***regim de îmbogățire*** dacă pe ***grilă*** se aplică o ***tensiune negativă*** și în ***regim de sărăcire*** dacă pe ***grilă*** se aplică o ***tensiune pozitivă***.
- Dispozitivul ***TEC-MOS cu canal indus*** lucrează numai în regim de îmbogăţire dacă pe grila tranzistorului se aplică o tensiune mai mare decât tensiunea de prag.
- Polarizarea tranzistoarelor cu efect de câmp:



EVALUAREA CUNOȘTINȚELOR

I Încercuiește varianta sau variantele de răspuns corectă.

1. La tranzistoarele unipolare controlul conductivității se realizează prin :
   a. Variația unui curent;
   b. Variația unei tensiuni;
   c. Variația unei rezistențe electrice.
2. Prin ”***efect de câmp***” se înțelege:
   a. Controlul curentului electric de către un câmp electric;
   b. Controlul tensiunii electrice de către un câmp electric;
   c. Controlul rezistenței electrice de către un câmp electric.
3. Într-un dispozitiv **TEC-J** canalul se află între:
   a. Grilă și sursă;
   b. Grilă și drenă;
   c. Drenă și sursă.
4. Un dispozitiv **TEC-J** funcționează întotdeauna cu:
   a. Joncțiunea grilă-drenă polarizată direct;
   b. Joncțiunea grilă-sursă polarizată direct;
   c. Joncțiunea grilă-sursă polarizată invers
5. Tranzistoarele unipolare **NU** au:
   a. Caracteristică de intrare;
   b. Caracteristică de transfer;
   c. Caracteristică de ieșire.
6. Dacă la un dispozitiv TEC-MOS cu canal inițial de tip N pe grilă se aplică o tensiune pozitivă, acesta lucrează în regim de:
   a. Îmbogățire;
   b. Sărăcire;
   c. Blocare.
7. Un dispozitiv TEC-MOS cu canal indus lucrează numai în regim de:
   a. Saturație;
   b. Îmbogățire;
   c. Sărăcire:

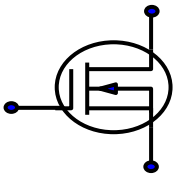
8. Simbolul din figura de mai jos reprezintă:

a. Un TEC-MOS cu canal P indus;

b. Un TEC-MOS cu canal N indus;

c. Un TEC-MOS cu canal P inițial;

d. Un TEC-MOS cu canal N inițial;



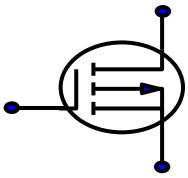
9. Simbolul din figura de mai jos reprezintă:

a. Un TEC-MOS cu canal P indus;

b. Un TEC-MOS cu canal N indus;

c. Un TEC-MOS cu canal P inițial;

d. Un TEC-MOS cu canal N inițial;



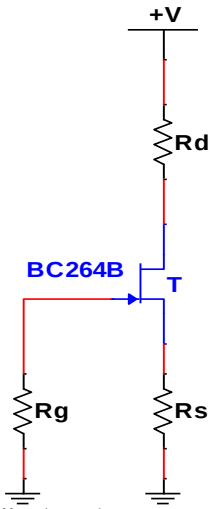
10. În schema de mai jos tranzistorul unipolar este polarizat:

a. Prin divizor de tensiune;

b. Cu reacție în drenă;

c. Automat;

d. La zero.



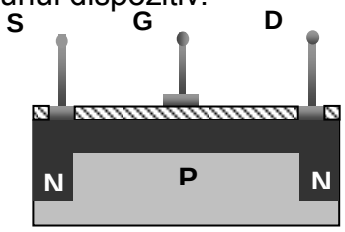
11. În imaginea de mai jos este prezentată structura unui dispozitiv:

a. TEC-MOS cu canal P indus;

b. TEC-MOS cu canal N indus;

c. TEC-MOS cu canal P inițial;

d. TEC-MOS cu canal N inițial;

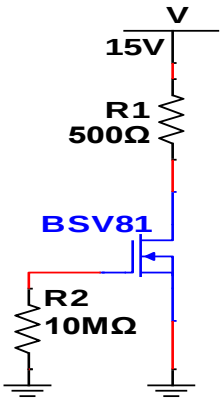


12. În circuitul din imaginea de mai jos I_D **= 10 mA.** Tensiunea drenă-sursă este:

a. 14,5 V;

b. 10 V;

c. 5 V.



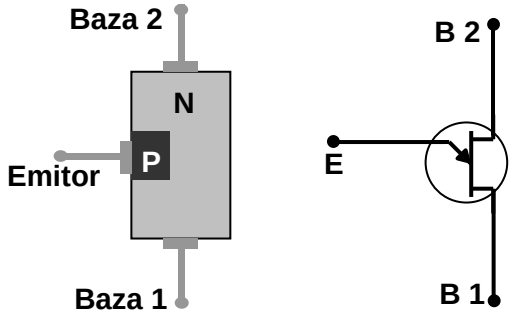
CAPITOLUL 7. TRANZISTOARE UNIJONCȚIUNE

Tranzistoarele unijoncţiune au o singură joncţiune pn şi prezintă o regiune de rezistenţă negativă. Această proprietate le face utilizabile în schemele de oscilatoare de relaxare, circuite de comandă a tiristoarelor şi triacelor, circuite de temporizare, etc.

7.1 STRUCTURA ŞI FUNCŢIONAREA TUJ

7.1.1 Structura şi simbolul tranzistorului unijoncţiune

Tranzistorul unijoncţiune (TUJ) – este un dispozitiv electronic cu o joncţiune pn şi trei terminale: EMITOR (E) , BAZA 1 (B1), BAZA 2 (B2) (**figura 7.1**).



ATENŢIE!

Nu confundaţi simbolul TUJ cu simbolul TEC-J!

La simbolul TUJ ***suportul săgeţii este înclinat.***

Figura 7.1 Structura şi simbolul tranzistorului unijoncţiune

7.1.2 Funcţionarea şi caracteristica statică de emitor a TUJ.

Polarizarea şi graficul caracteristicii unui TUJ sunt prezentate în **figura 7.2**.

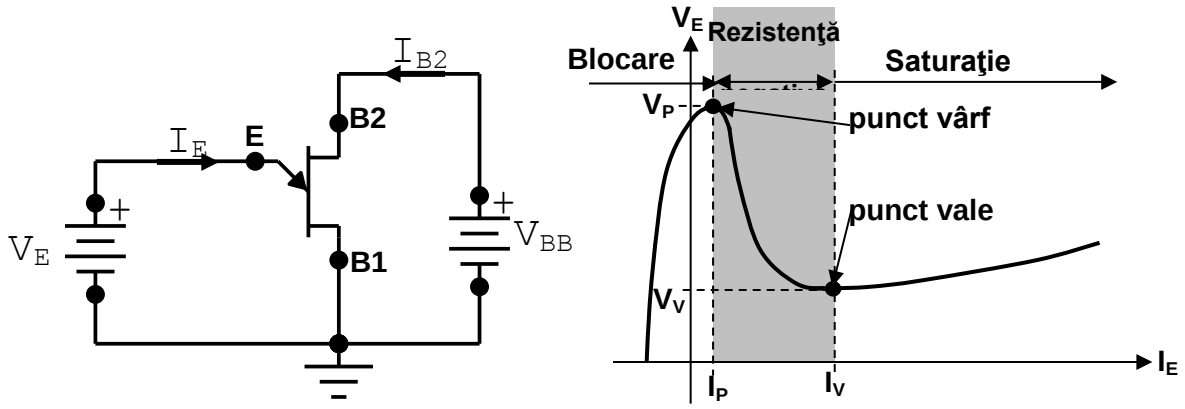


Figura 7.2 Polarizarea şi graficul caracteristicii tranzistorului unijoncţiune

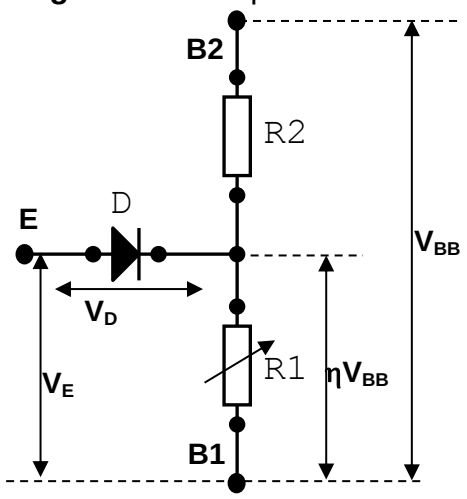
Tensiunea de alimentare (V_{BB}) se aplică pe bazele tranzistorului. Tensiunea de comandă (V_E) se aplică între emitor şi baza1. Polarităţile tensiunilor sunt indicate în **figura 7.2**.

La o tensiune de alimentare constantă, odată cu variaţia tensiunii de comandă, tranzistorul se comportă astfel:

- când $V_E < 0$, joncţiunea **E-B1** este polarizată invers, iar tranzistorul este blocat;
- când V_E atinge valoarea de amorsare (vârf) $V_E = V_P$, joncţiunea emitorului se deschide iar rezistenţa emitor şi baza1 scade repede. Tensiunea emitorului scade de la valoarea de amorsare (vârf) V_P la valoarea de vale V_V iar curentul din emitor creşte de la valoarea de vârf I_P la valoarea de vale I_V. În acest mod se manifestă proprietatea tranzistorului de rezistenţă negativă;
- când curentul din emitor depăşeşte valoarea curentului de vale $I_E > I_V$, joncţiunea **E-B1** se comportă ca o diodă în conducţie, tranzistorul se află în zona de saturaţie.

7.1.3 Caracteristicile electrice specifice tranzistoarelor unijoncţiune

În **figura 7.3** este prezentată schema echivalentă a tranzistorului unijoncţiune



D – reprezintă joncţiunea pn a tranzistorului

R2 – reprezintă rezistenţa dinamică internă dintre emitor şi baza 2

R1 – reprezintă rezistenţa dinamică internă dintre emitor şi baza 1

Valoarea rezistenţei **R1**, variază invers proporţional cu curentul din emitor, de la câţiva kiloohmi la câteva zeci de ohmi.

Figura 7.3 Schema echivalentă a tranzistorului unijoncţiune

Dispozitivele TUJ au următoarele caracteristici electrice:

- **rezistenţa interbaze (R_{BB})** – reprezintă rezistenţa electrică internă dintre cele două baze ale tranzistorului în condiţii de polarizare normală. Valorile uzuale ale rezistenţei interbaze sunt cuprinse între 2KΩ şi 12KΩ;

$$R_{BB} = R1 + R2 \quad (1)$$

- **raportul de divizare intrinsec (η)** – reprezintă raportul dintre rezistenţa R1 şi rezistenţa interbaze R_{BB};

$$\eta = \frac{R1}{R_{BB}} \quad (2)$$

Valorile uzuale ale parametrului η sunt cuprinse între 0,5 şi 0,85.

În figura 7.3 se observă că (3) $V_E = V_D + \eta V_{BB} \Rightarrow$ (4) $\eta = \dfrac{V_E - V_D}{V_{BB}}$

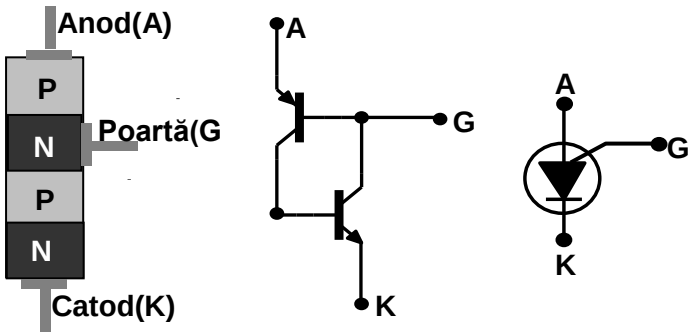
- **tensiunea de vârf (peak în lb. engleză) (V_P)** – reprezintă valoarea tensiunii din emitor la care tranzistorul amorsează **$V_P = V_E$** $\Rightarrow$ (5) $V_P = V_D + \eta V_{BB}$ (V_D = 0,7 V ; valoarea lui η se i-a din catalog);
- **curentul de vârf (I_P)** – reprezintă valoarea curentului din emitor la care tranzistorul amorsează. Are valori de ordinul zecilor de microamperi;
- **tensiunea de vale (valley în lb. engleză) (U_V)** – reprezintă valoarea tensiunii din emitor în „punctul de vale" (punctul în care tranzistorul trece din regimul de rezistenţă negativă în regimul de blocare);
  Această tensiune depinde foarte puţin de V_{BB} şi poate lua valori între 1V şi 3V
- **curentul de vale (I_V)** – reprezintă valoarea curentului din emitor în "punctul de vale"
  Acest curent este cam de 1000 de ori mai mare decât curentul de vârf.

7.2. STRUCTURA ŞI FUNCȚIONAREA UNUI TUJ PROGRAMABIL

7.2.1 Structura şi simbolul unui TUJ programabil

Tranzistorul unijoncţiune programabil – este un TUJ la care parametrii electrici pot fi programaţi pentru anumite valori prin intermediul unui divizor de tensiune extern. Constructiv structura unui TUP este asemănătoare cu a unui tiristor comandat în tensiune. Tiristorul este un dispozitiv multijoncţiune care se va trata în alt capitol.

În **figura 7.4** sunt prezentate structura şi simbolul TUP.



structura de bază structura cu TB simbolul

ATENŢIE!

Nu confundaţi simbolul TUP cu simbolul tiristorului

La simbolul TUP ***grila este la baza triunghiului (spre A)*** iar la tiristor este la vârful triunghiului (spre K).

Figura 7.4 Structura şi simbolul tranzistorului unijoncţiune programabil

Poarta sau grila tranzistorului este conectată în vecinătatea anodului la regiunea N. La tiristor poarta este conectată în vecinătatea catodului la regiunea P.

7.2.2 Funcţionarea şi caracteristica statică de emitor a TUP.

Polarizarea şi graficul caracteristicii unui TUP sunt prezentate în **figura 7.5**.

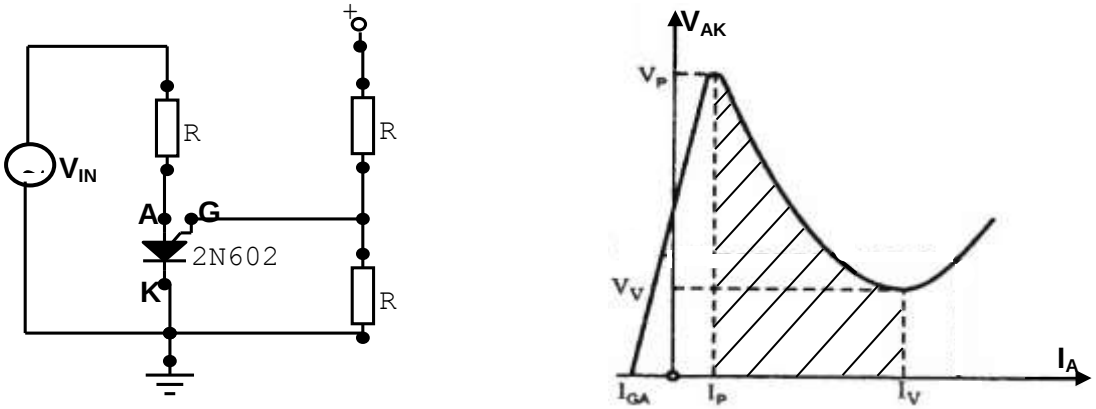


Figura 7.5 Polarizarea şi graficul caracteristicii TUP

Tensiunea de comandă pentru grilă este asigurată de divizorul de tensiune extern R1-R2. În funcţie de valoarea tensiunii de intrare (tensiunea din anodul tranzistorului) TUP se deschide sau se blochează. Când tensiunea din anod este mai pozitivă cu 0,7V decât tensiunea din grilă, tranzistorul se deschide, deoarece joncţiunea anod-grilă este polarizată direct. Dacă tensiunea din anod scade sub nivelul de deschidere, TUP se blochează.

7.3 Identificarea terminalelor tranzistoarelor unijoncţiune

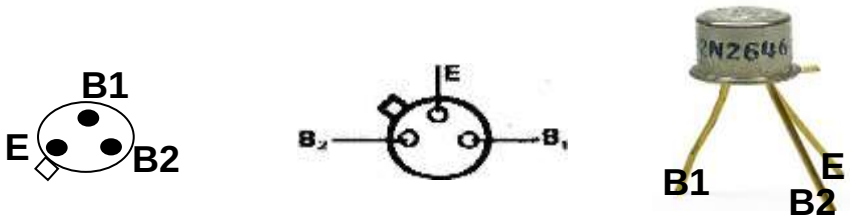


Figura 7.6 Tranzistoare TUJ în capsulă metalică

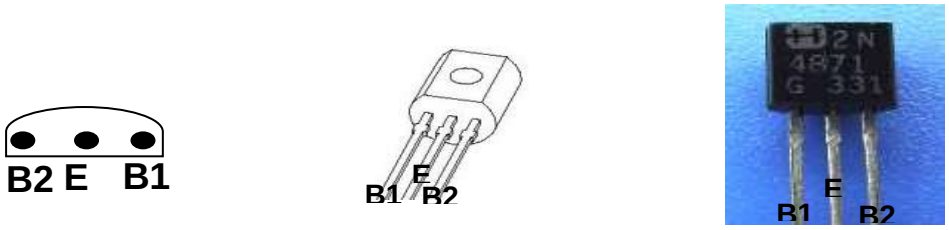


Figura 7.7 Tranzistoare TUJ în capsulă din material plastic

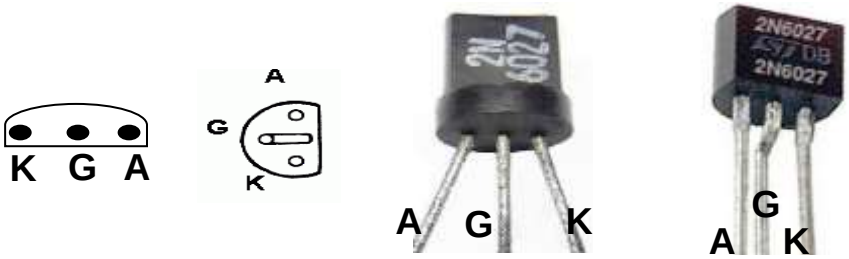


Figura 7.8 Tranzistoare TUP în capsulă din material plastic

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**)

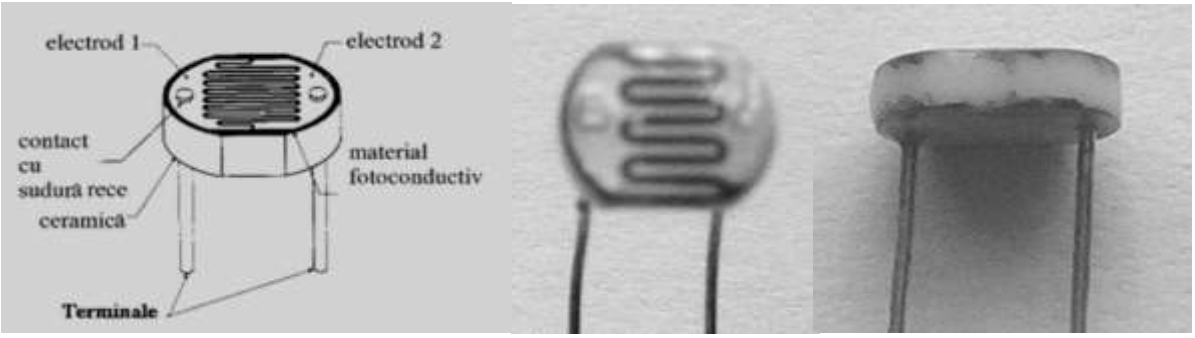


Figura 8.1 Fotorezistorul

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

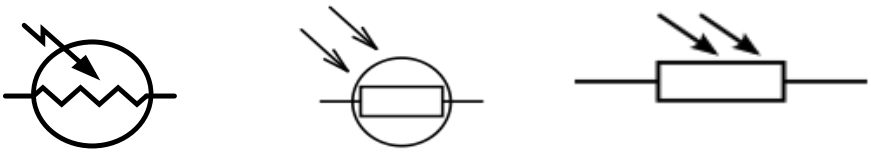
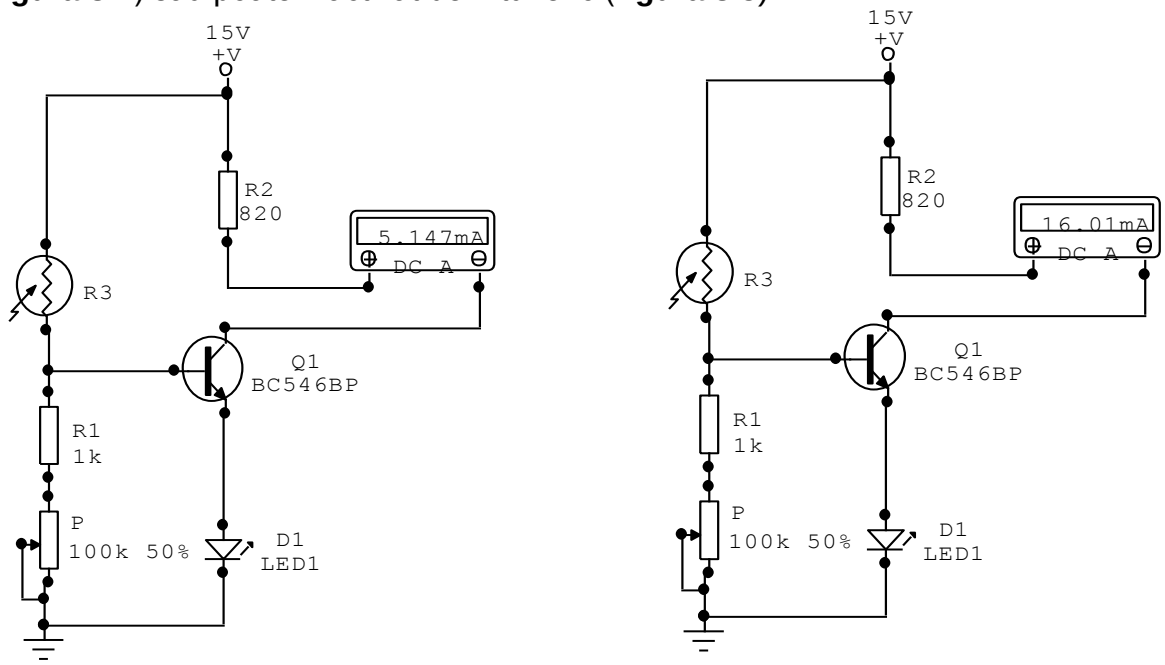


Figura 8.2 Simbolurile fotorezistorului

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

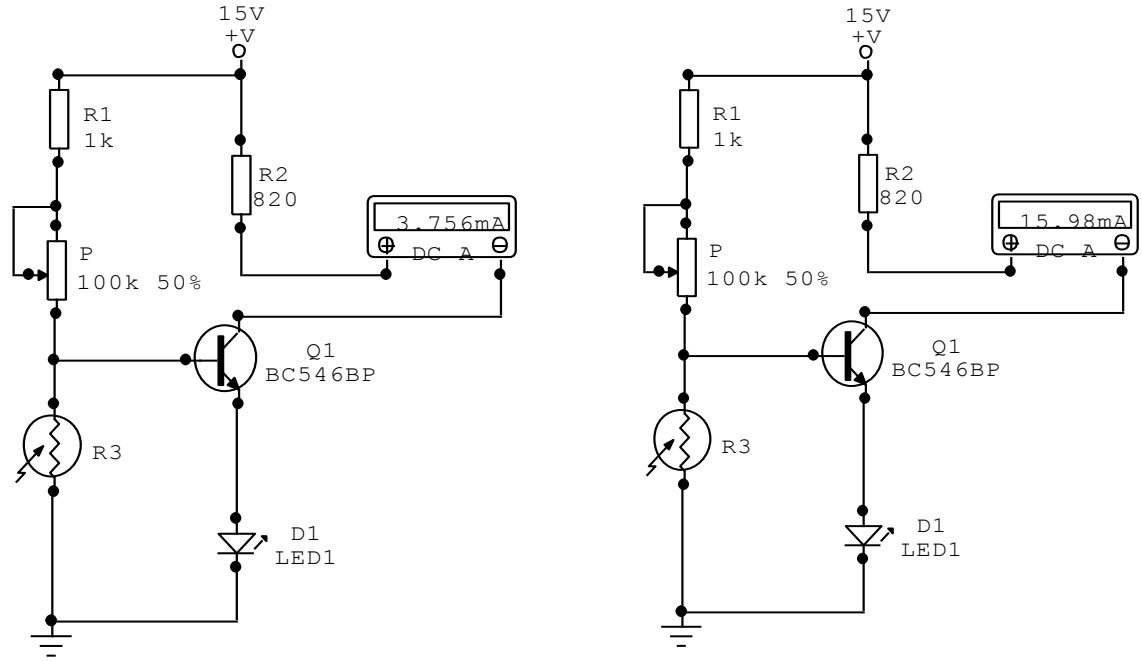
Conectat într-un circuit electric, fotorezistorul modifică intensitatea curentului din circuit. Intensitatea curentului creşte proporţional cu scăderea rezistenţei electrice a fotorezistorului, deci proporţional cu creşterea intensităţii fluxului luminos. În circuitele electronice, în funcţie de modul 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**).

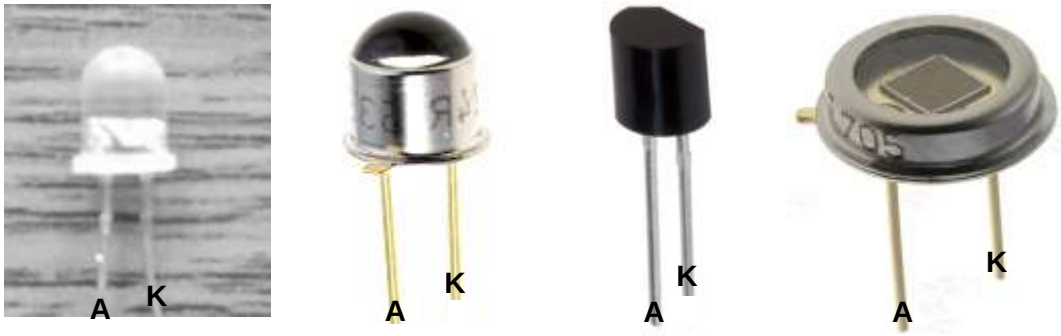


Figura 8.6 Fotodiode

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

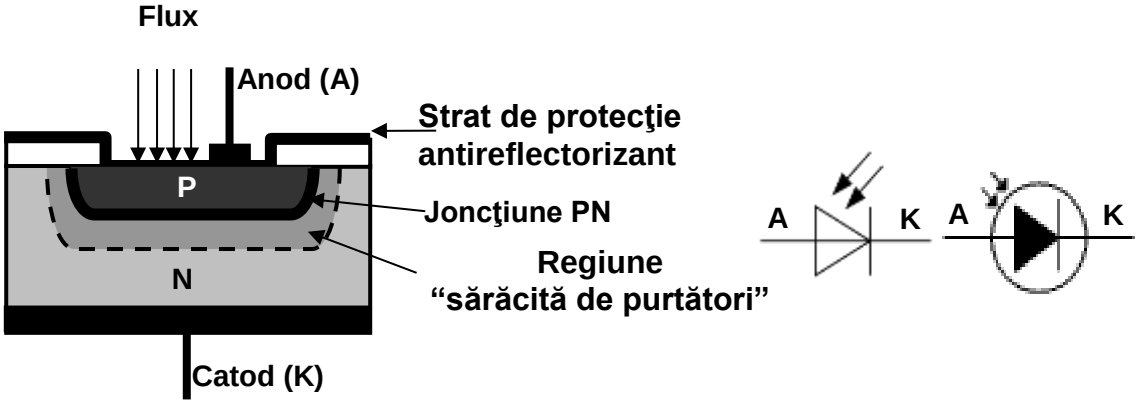


Figura 8.7 Structura şi simbolul fotodiodei

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 (+)**.

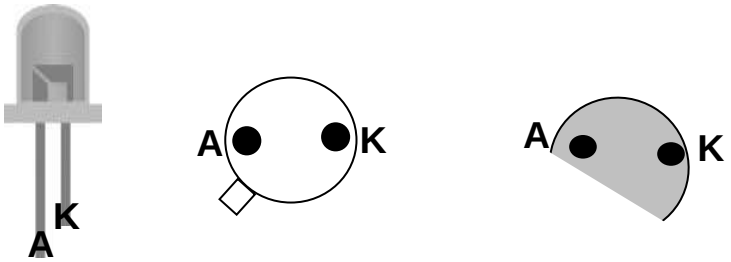
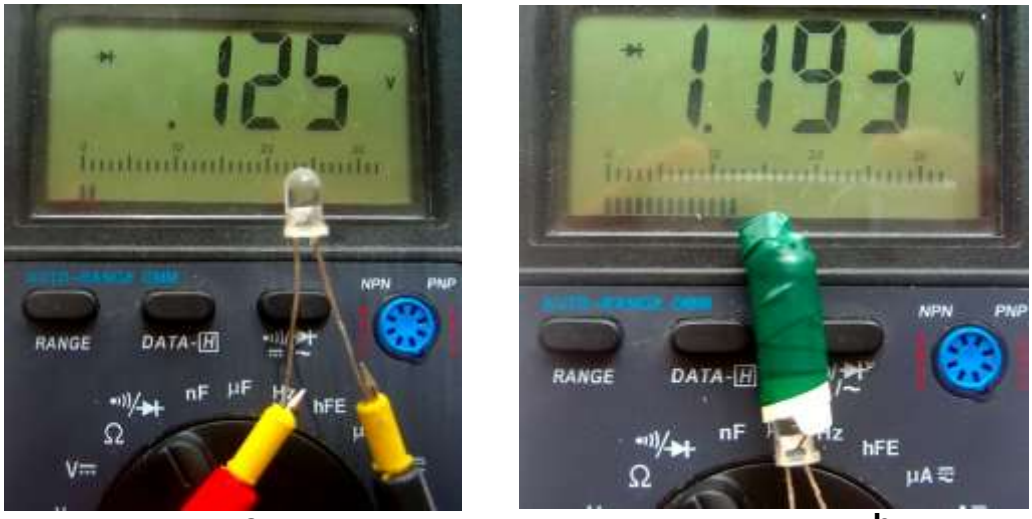


Figura 8.8 Identificarea terminalelor fotodiodei după forma capsulei

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.

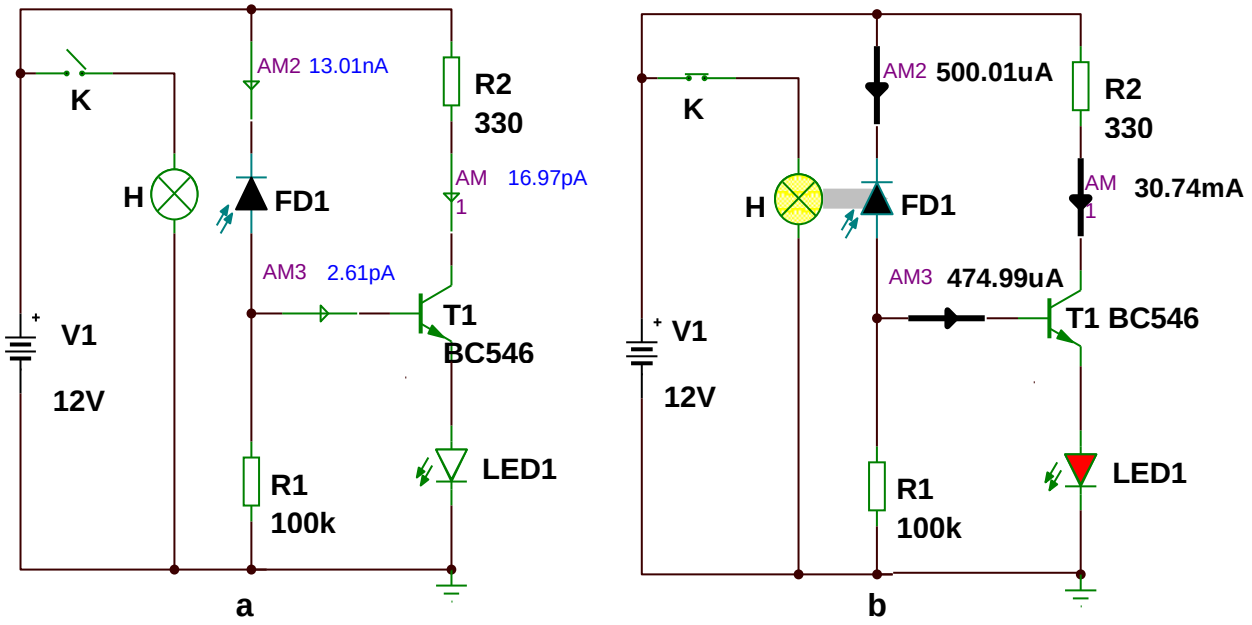


Figura 8.10 Comanda unui LED cu ajutorul unei fotodiode

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);**

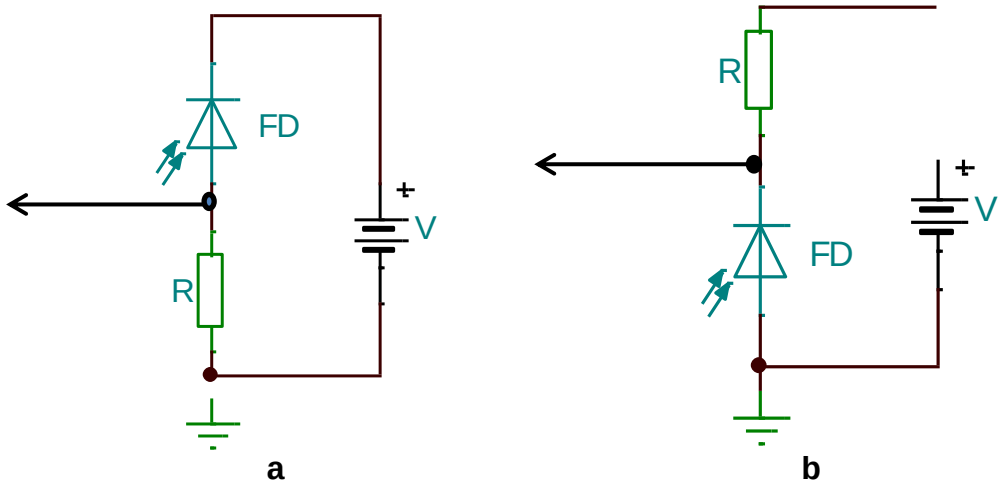


Figura 8.11 Conectarea fotodiodei într-un circuit

- **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**).

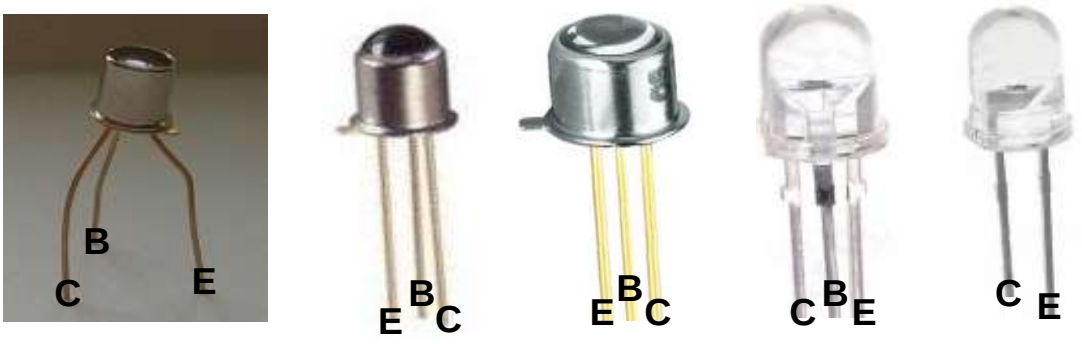


Figura 8.12 Fototranzistoare

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

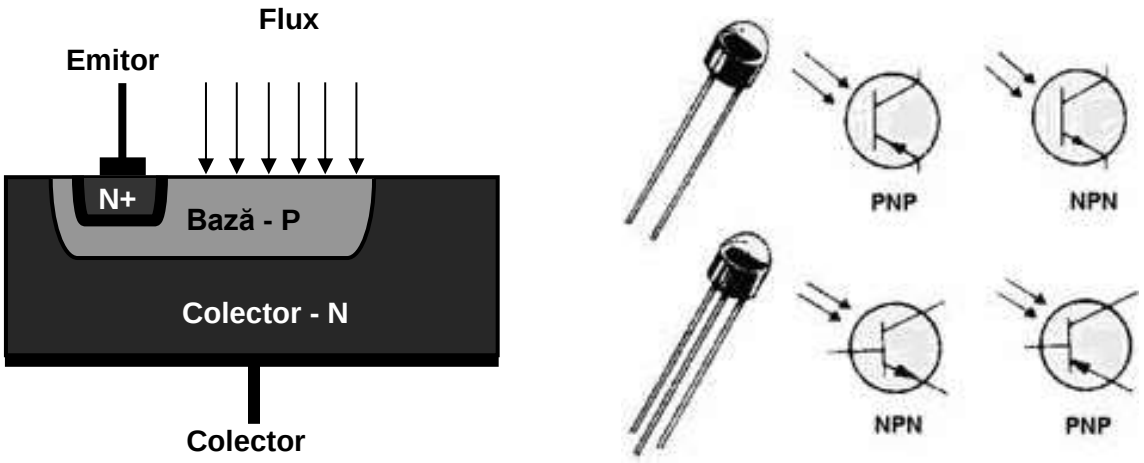


Figura 8.13 Structura şi simbolul fototranzistorului

Identificarea terminalelor şi verificarea fototranzistorului

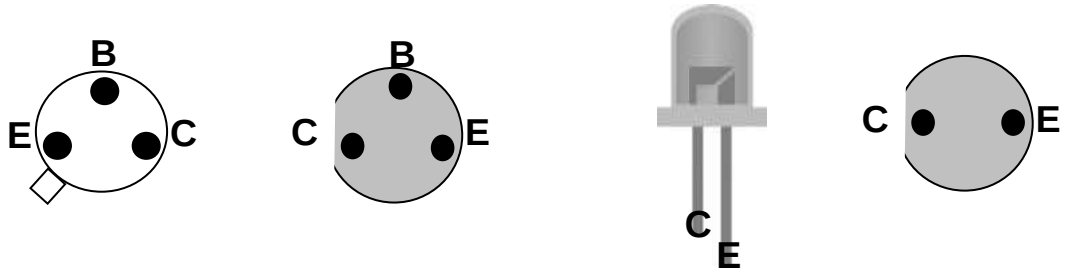


Figura 8.14 Identificarea terminalelor fototranzistorului după forma capsulei

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:

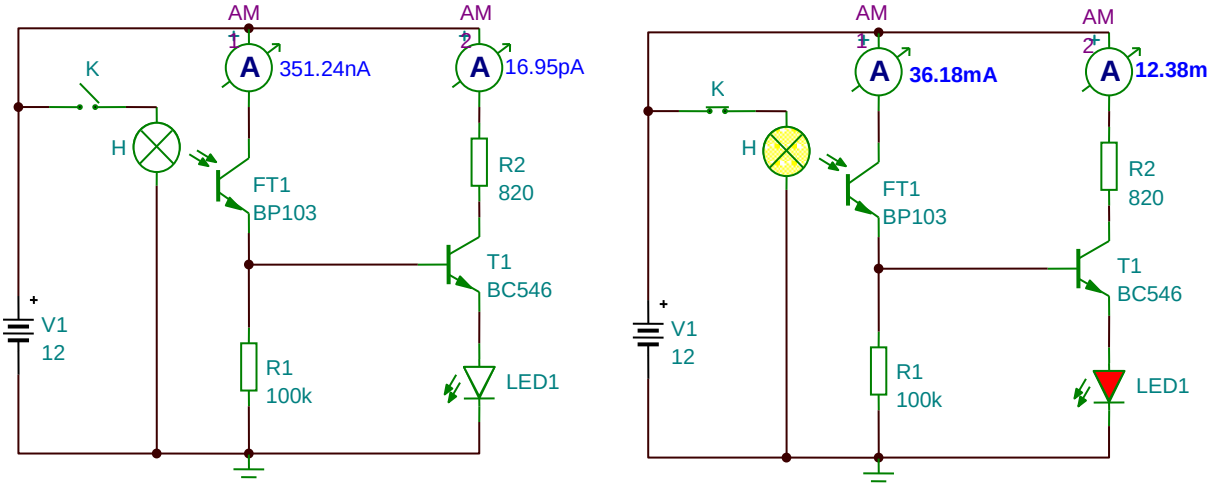
- se fixează comutatorul multimetrului pe poziţia ;
- se activează butonul iar pe display în stânga-sus apare ;
- se fixează tastele multimetrului la terminalele fototranzistorului în sensul în care acesta indică tensiune (**fig. 8.15 a**). În această situaţie, terminalul fototranzistorului pe care este **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.

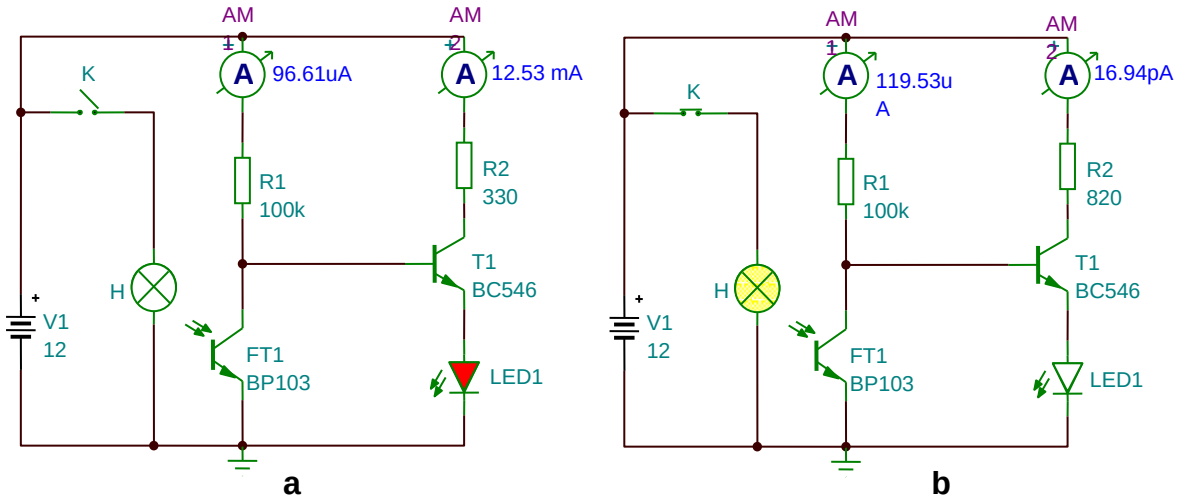
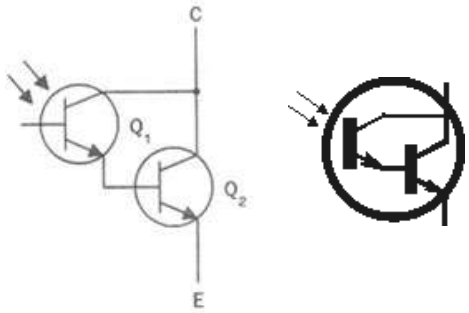


Figura 8.17 Circuit cu LED activat de prezenţa întunericului

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);**

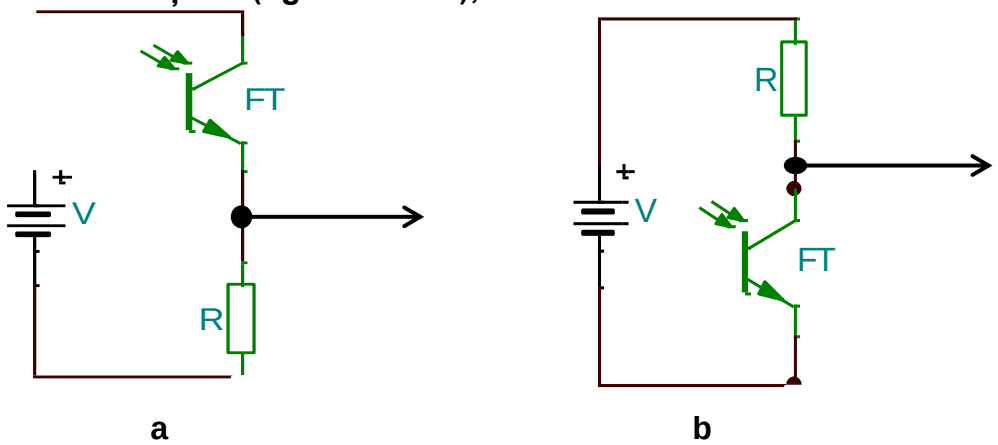


Figura 8.19 Conectarea unui fototranzistor în circuit

- **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.

LUCRARE DE LABORATOR

TRASAREA CARACTERISTICII STATICE PENTRU FOTOTRANZISTOARE.

- **OBIECTIVE:**
  - Realizarea montajului corespunzător schemei electronice;
  - Măsurarea corectă a mărimilor electrice din circuit;
  - Trasarea corectă, prin puncte, a caracteristicii statice.
- **RESURSE:**
  - Multimetre digitale;
  - Pistoale de lipit;
  - Accesorii pentru lipit;
  - Conductoare;
  - Plăcuțe de lucru;
  - Rezistoare: R1=1K ; R2=100K;
  - Fototranzistor (SFH 309; PT 331)
  - LED;
  - Surse de alimentare reglabile.
- **DESFĂȘURAREA LUCRĂRII:**

1. Se realizează practic montajul din **figura 8.20**;

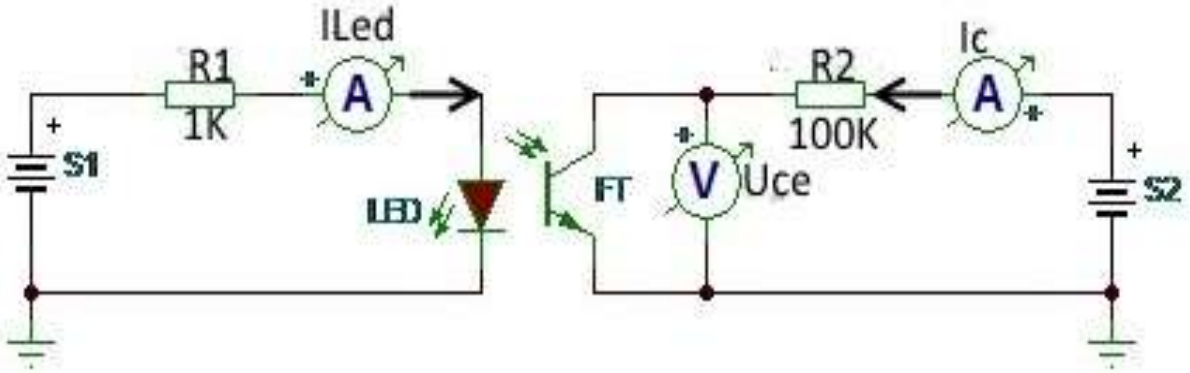


Figura 8.20 Circuit pentru trasarea caracteristicii statice a unui fototranzistor

2. Se reglează sursa S1 astfel încât curentul prin LED să fie 5mA;
3. Se reglează sursa S2 la valorile indicate în tabelul 8.1;
4. Se notează în **tabelul 8.1** valorile indicate de aparatele de măsură;
5. Se reglează sursa S1 astfel încât curentul prin LED să fie 10mA și se reiau operațiile de la punctele 3 și 4;
6. Se reglează sursa S1 astfel încât curentul prin LED să fie 15mA și se reiau operațiile de la punctele 3 și 4;
7. Pe baza valorilor notate în tabel se trasează prin puncte caracteristica statică $\mathbf{I_{FT} = f(U_{FT})}$ a fototranzistorului în sistemul de axe din **figura 8.21**.

TABELUL 8.1

U_{S2}[V]		1	2	4	6	8	10	12
I_{LED} 5mA	I_C							
	U_{CE}							
I_{LED} 10mA	I_C							
	U_{CE}							
I_{LED} 15mA	I_C							
	U_{CE}							

Figura 8.21 Graficul caracteristicii statice a unui fototranzistor

OBSERVAȚIE:

LED-ul și fototranzistorul se plasează într-un tub (parasolar) care blochează pătrunderea radiațiilor luminii naturale spre regiunea fotosensibilă a fototranzistorului.

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

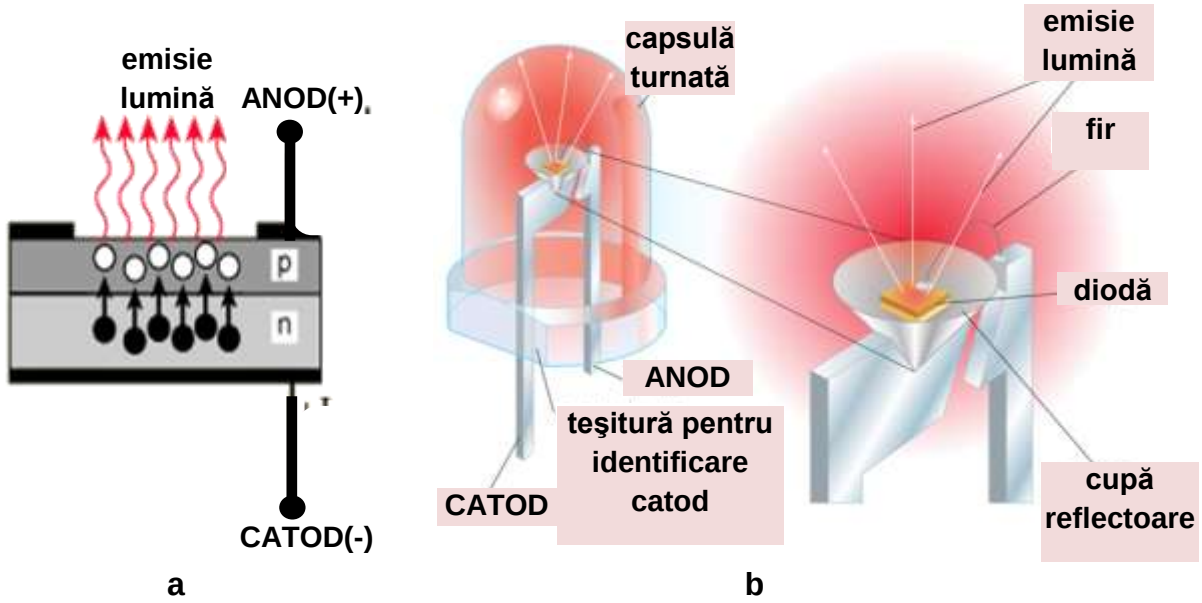


Figura 8.22 Structura constructivă a unui LED

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)**

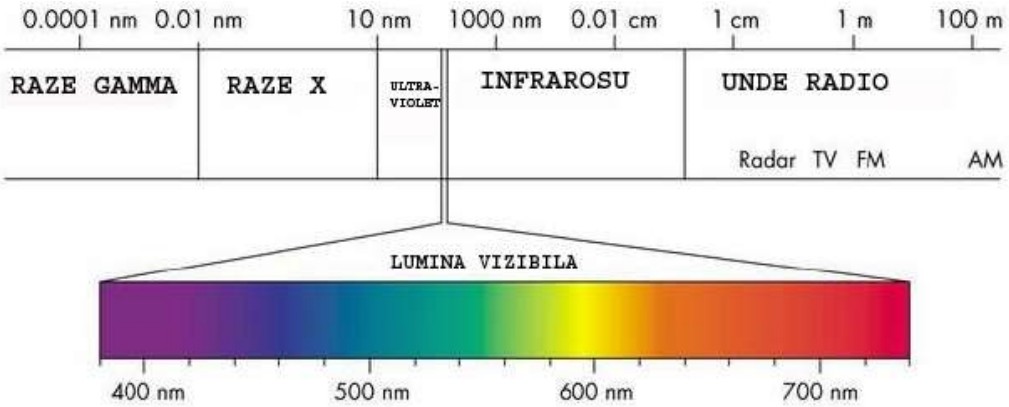


Figura 8.23 Spectrul radiaţiilor electromagnetice

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 - $I_F = f(U_F)$

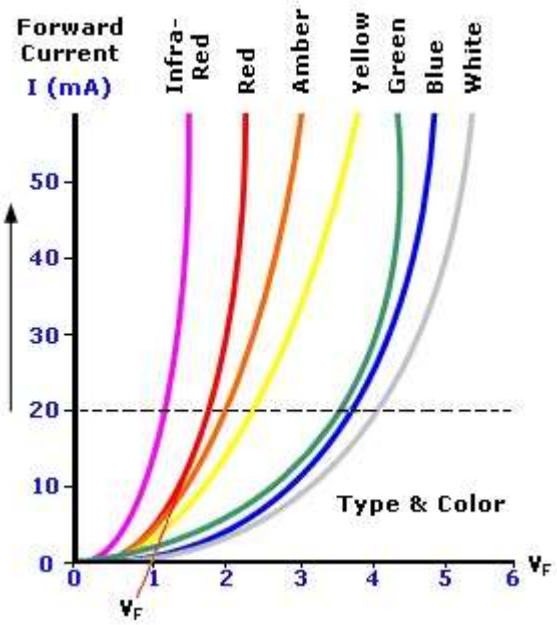


Figura 8.24 Caracteristica statică de ieșire a LED-ului

Identificarea terminalelor şi verificarea LED-ului.

a b c

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.

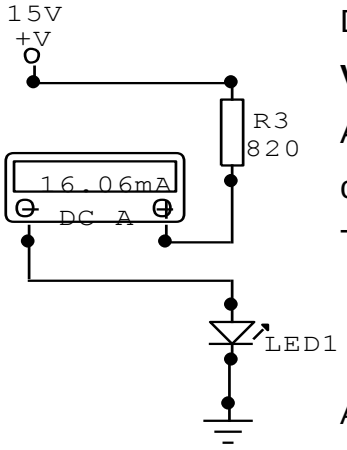
Identificarea terminalelor prin măsurare cu multimetrul se face astfel:

- 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.**

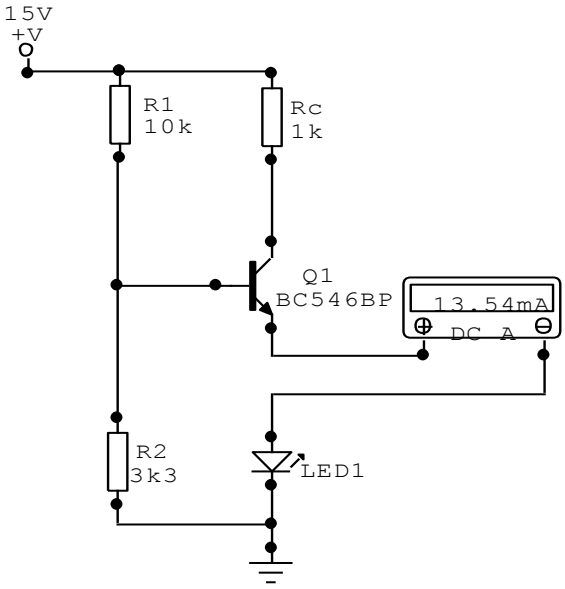
Trebuie să calculez **R1 = ?**

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

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**)

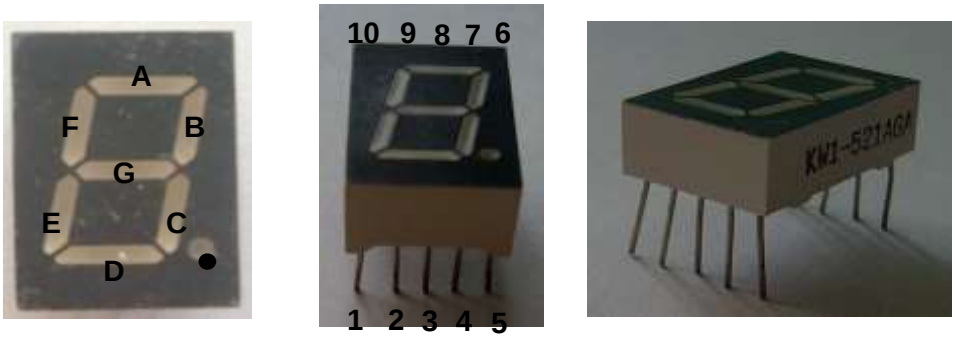
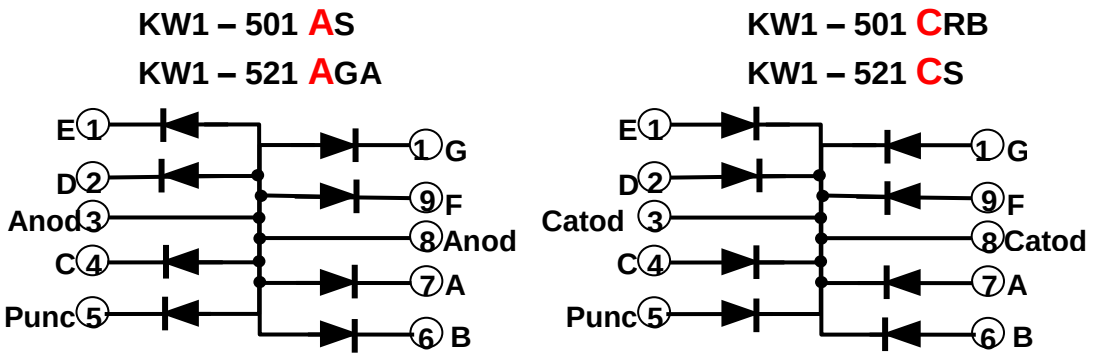


Figura 8.28 Afişaj 7 segmente - aranjarea segmentelor-numerotarea terminalelor



(a) Cu Anod comun **(b) Cu Catod comun**

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.

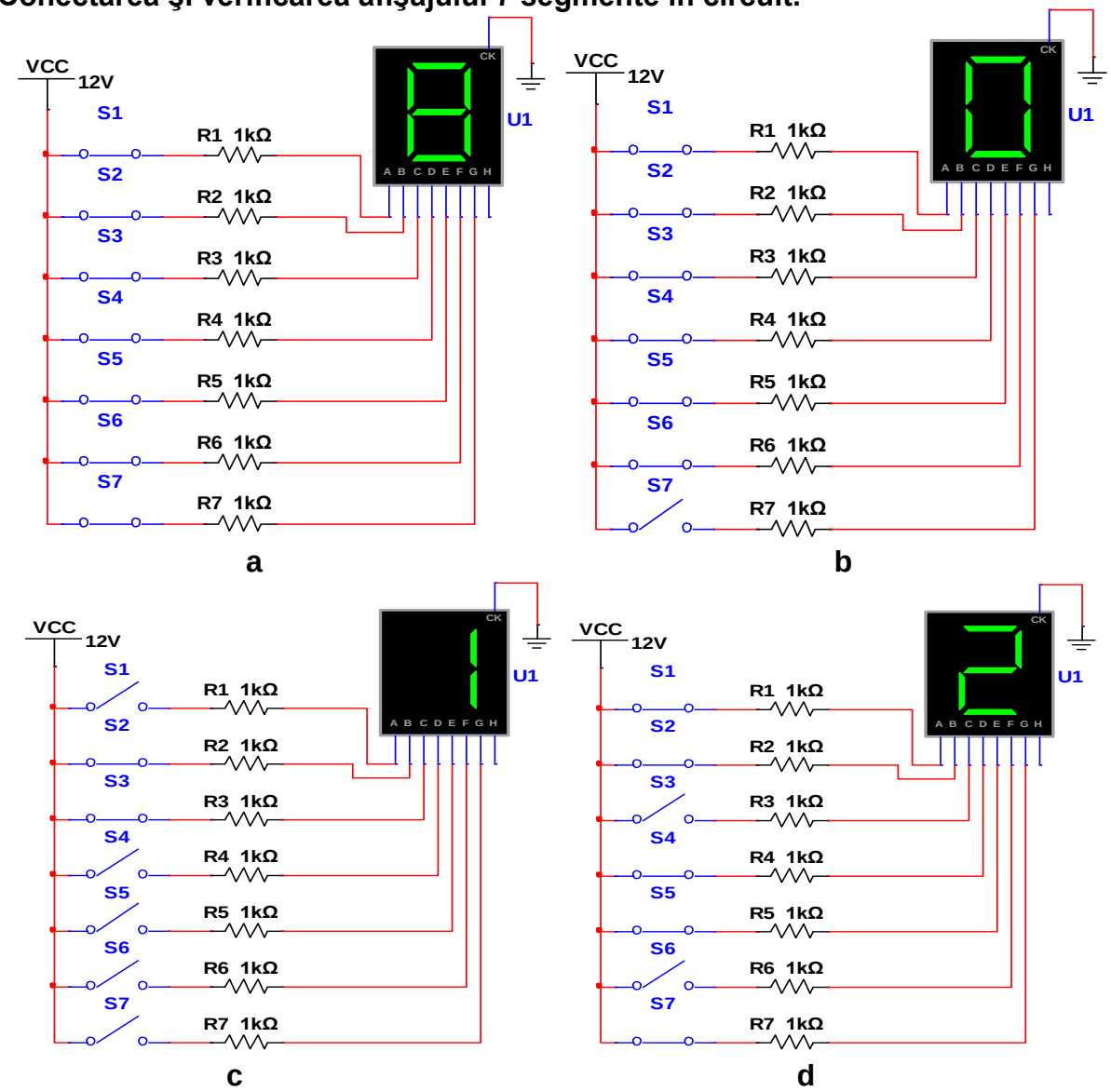


Figura 8.31 Conectarea unui afişaj 7 segmente în circuit

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

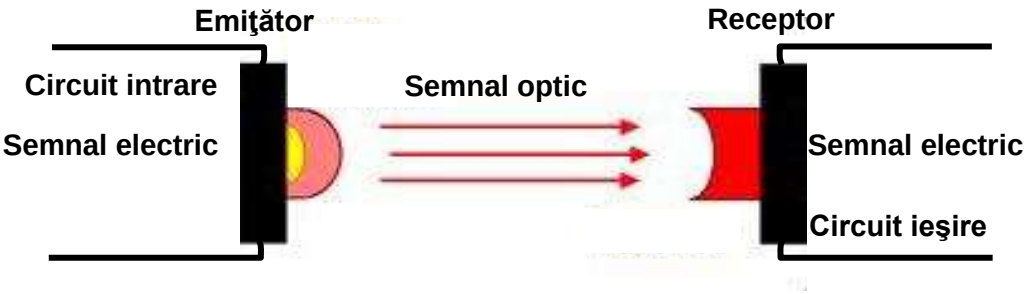


Figura 8.32 Structura unui cuplor optic

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

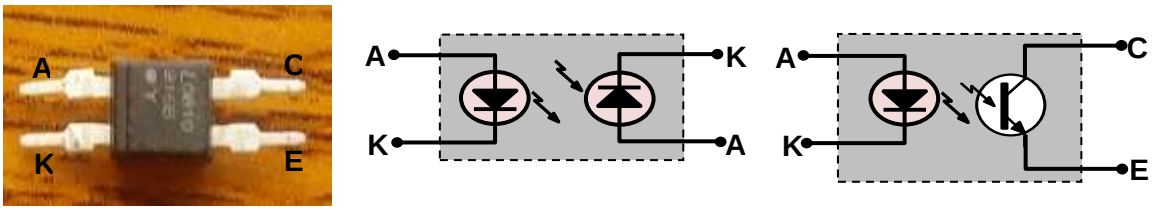


Figura 8.33 Cuplor optic cu 4 terminale

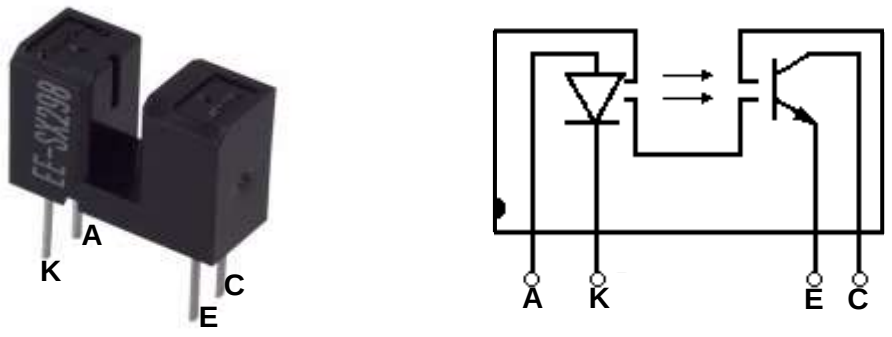


Figura 8.34 Comutator optoelectronic

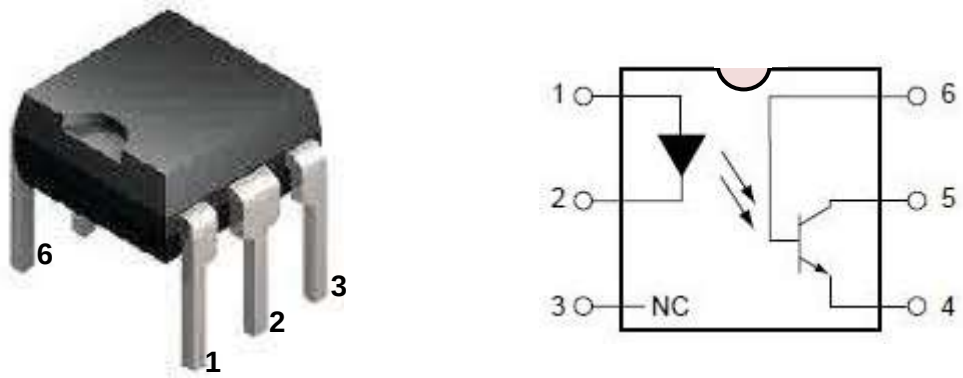


Figura 8.35 Cuplor optic cu 6 terminale

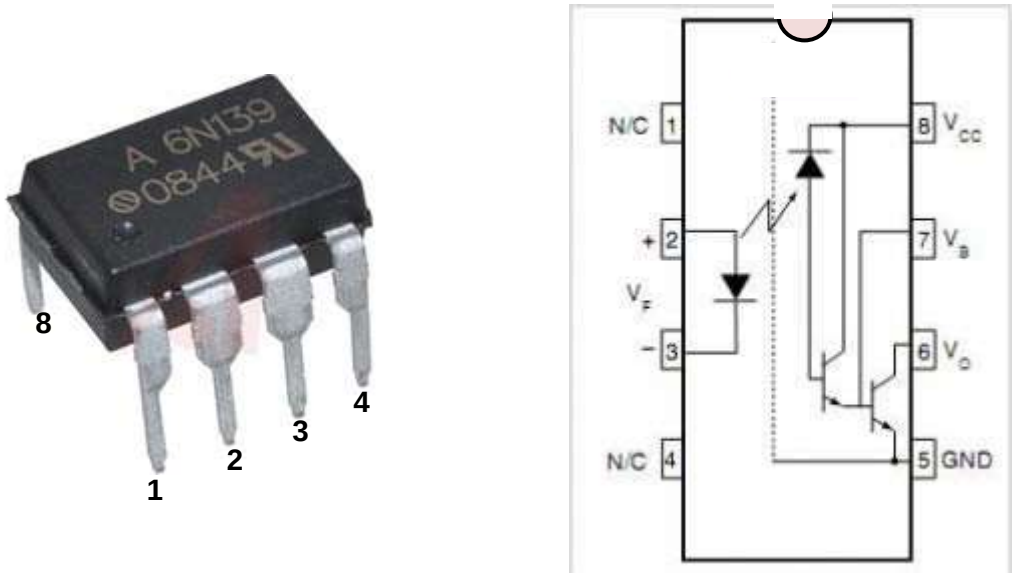
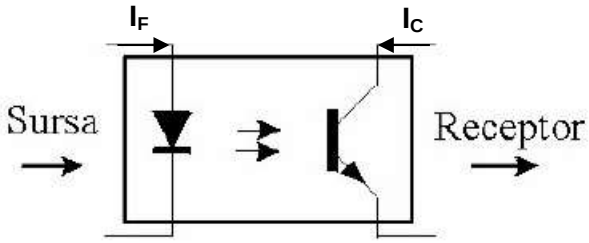
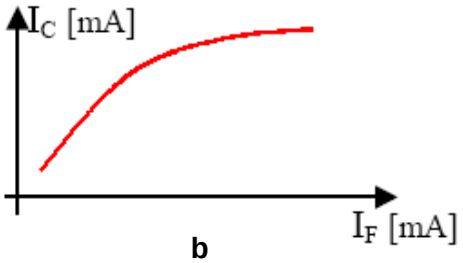


Figura 8.36 Cuplor optic cu 8 terminale (fotodarlington)

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

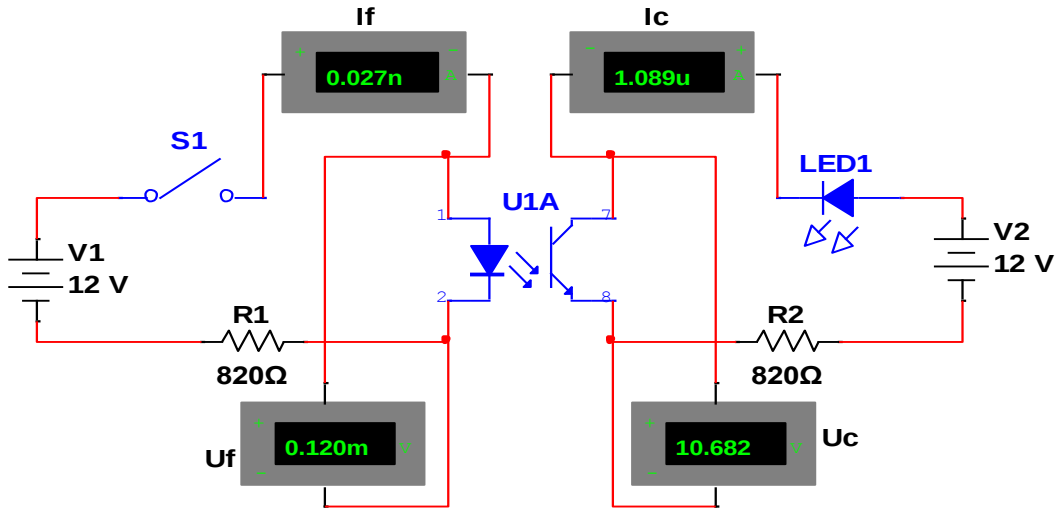
c

Figura 8.37 Parametrii optocuplorului PC123

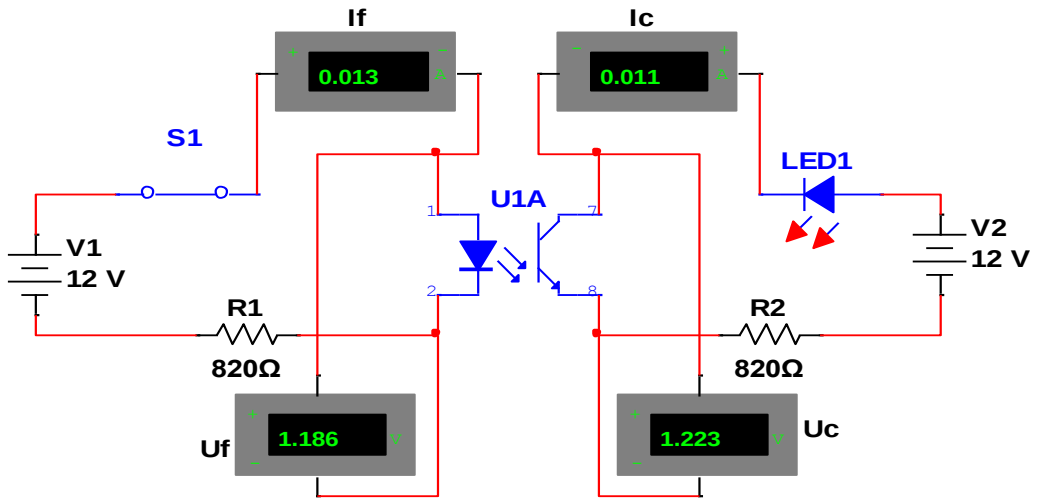
Parametrii care caracterizează un optocuplor se împart în două categorii:

- 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**).

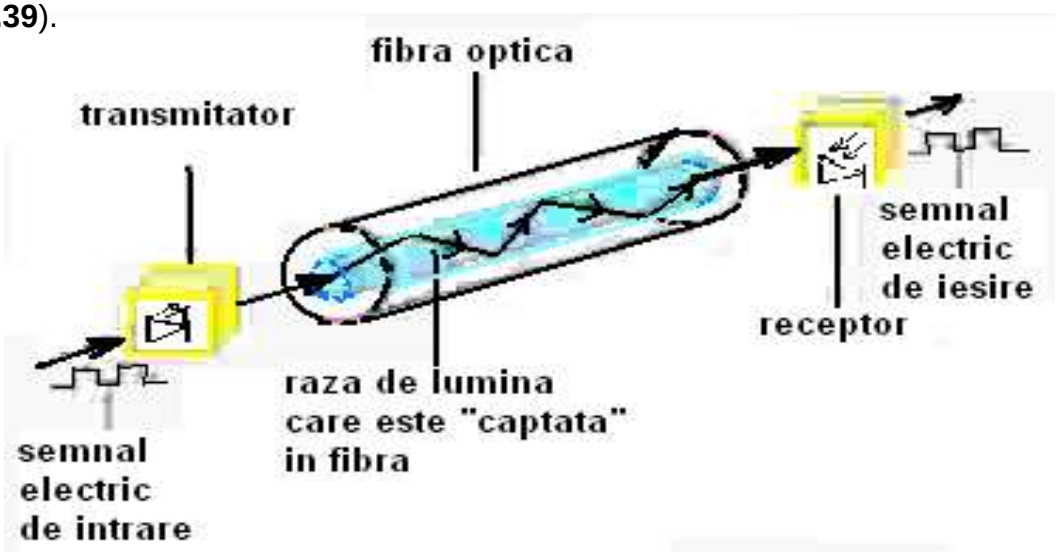


Figura 8.39 Sistem de transmisie prin fibră optică

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.

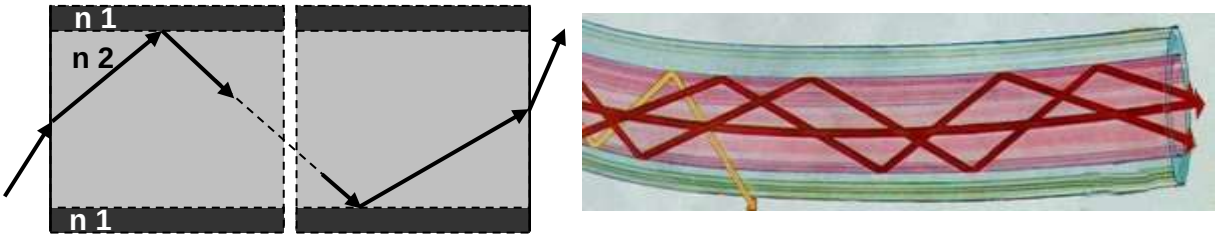


Figura 8.40 Rază de lumină într-o fibră optică

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**).

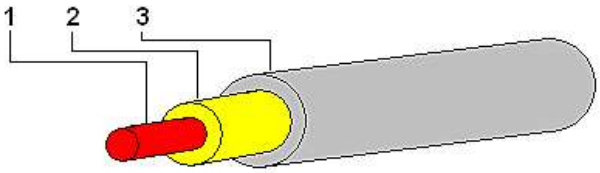


Figura 8.41 Structura fibrei optice

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.

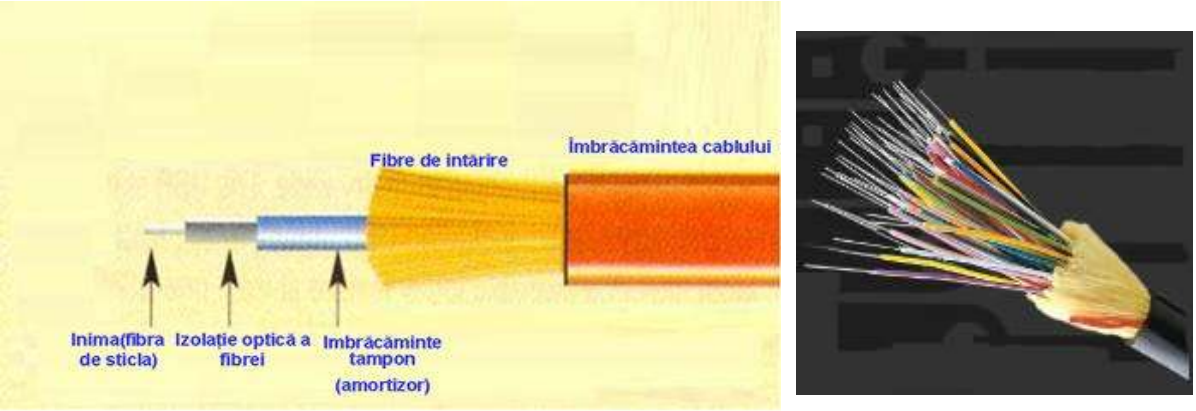


Figura 8.42 Structura cablului cu fibră optică

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 .

LUCRARE DE LABORATOR

TRASAREA CARACTERISTICII STATICE PENTRU LED-uri.

- **OBIECTIVE:**
  - Realizarea montajului corespunzător schemei electronice;
  - Măsurarea corectă a mărimilor electrice din circuit;
  - Trasarea corectă, prin puncte, a caracteristicii statice.
- **RESURSE:**
  - Multimetre digitale;
  - Pistoale de lipit;
  - Accesorii pentru lipit;
  - Conductoare;
  - Plăcuțe de lucru;
  - Rezistoare: R=1K ;
  - LED-uri (roșu, verde);
  - Sursă de alimentare reglabilă.
- **DESFĂȘURAREA LUCRĂRII:**

1. Se realizează practic montajul din **figura 8.43**;

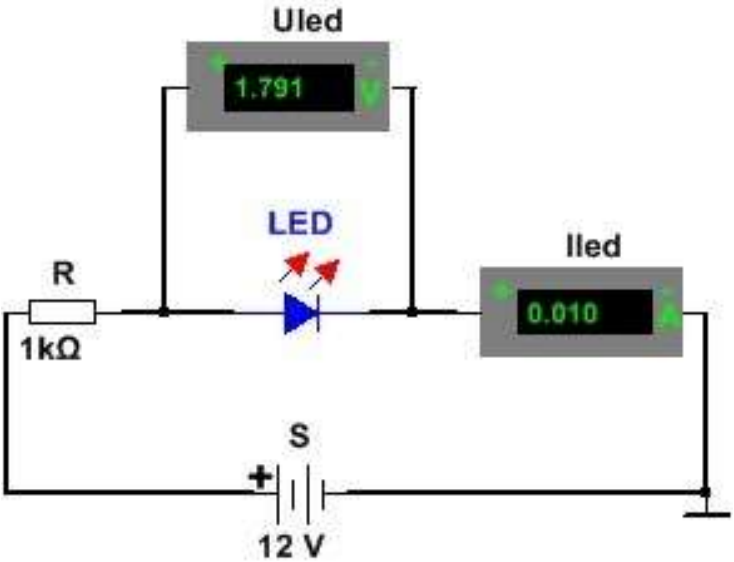


Figura 8.43 Circuit pentru trasarea caracteristicii statice a unui LED

2. Se reglează sursa S la valorile indicate în **tabelul 8.3**;
3. Se notează în tabelul 8.3 valorile indicate de aparatele de măsură;
4. Se înlocuiește LED-ul ROȘU cu LED-ul VERDE și se reiau operațiile de la punctele 2 și 3;
5. Pe baza valorilor notate în tabel se trasează prin puncte caracteristicile statice $\mathbf{I_{LED} = f(U_{LED})}$ a celor două LED-uri în sistemul de axe din **fig. 8.44**.

TABELUL 8.3

I_{LED}[mA]		2	4	8	12	16	20
ROȘU	U_{LED}[V]						
VERDE	U_{LED}[V]						

Figura 8.44 Graficul caracteristicilor statice a LED-urilor ROȘU și VERDE

LUCRARE DE LABORATOR

CALCULUL REZISTENȚEI DE POLARIZARE A LEDURILOR ÎN CIRCUIT.

- **OBIECTIVE:**
  - Realizarea montajului corespunzător schemei electronice;
  - Măsurarea corectă a mărimilor electrice din circuit;
  - Calculul corect al rezistenței de polarizare a LED-urilor.
- **RESURSE:**
  - Multimetre digitale;
  - Pistoale de lipit;
  - Accesorii pentru lipit;
  - Conductoare;
  - Plăcuțe de lucru;
  - Rezistoare, potențiometre;
  - LED-uri (roșii, verzi);
  - Sursă de alimentare reglabilă.
- **DESFĂȘURAREA LUCRĂRII:**

1. Se realizează cu ajutorul simulatorului schema din **figura 8.45**;

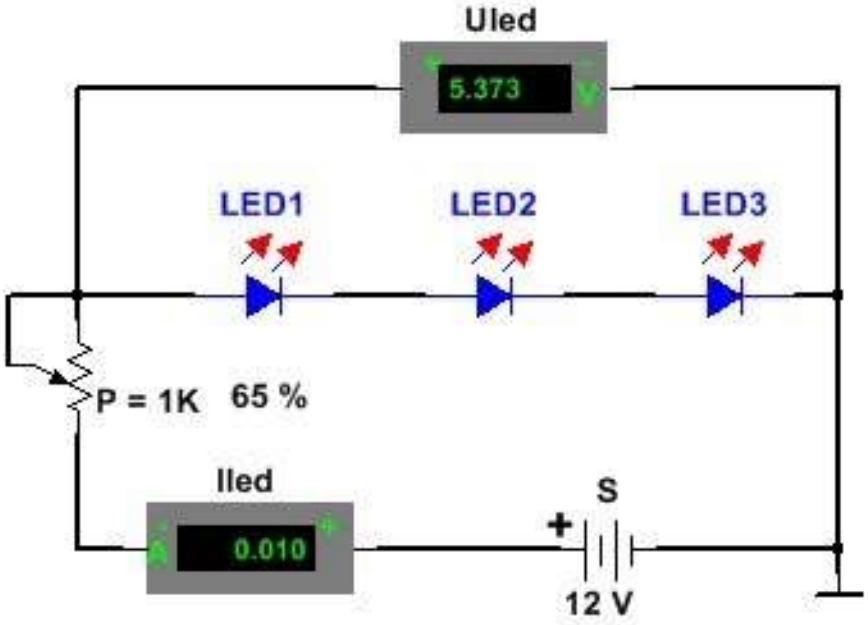


Figura 8.45 Conectarea LED-urilor în serie

2. Considerând: $\mathbf{U_{LED} = 1{,}7\ V}$ și $\mathbf{I_{LED} = 10\ mA}$ se calculează valoarea rezistenței de polarizare a LED-urilor cu formula:

$$R[\Omega] = \frac{U_S - (U_{LED1} + U_{LED2} + U_{LED3})}{I_{LED}[mA]} \cdot 1000\ ;$$

3. Se realizează practic montajul conform schemei din **figura 8.45** în care se înlocuiește potențiometrul P cu un rezistor care are valoare apropiată de valoarea calculată la punctul (2);
4. Se citesc valorile indicate de multimetrele din circuit și se compară aceste valori cu cele indicate de multimetrele din schema realizată cu simulatorul;
5. Se realizează cu ajutorul simulatorului schema din **figura 8.46**;

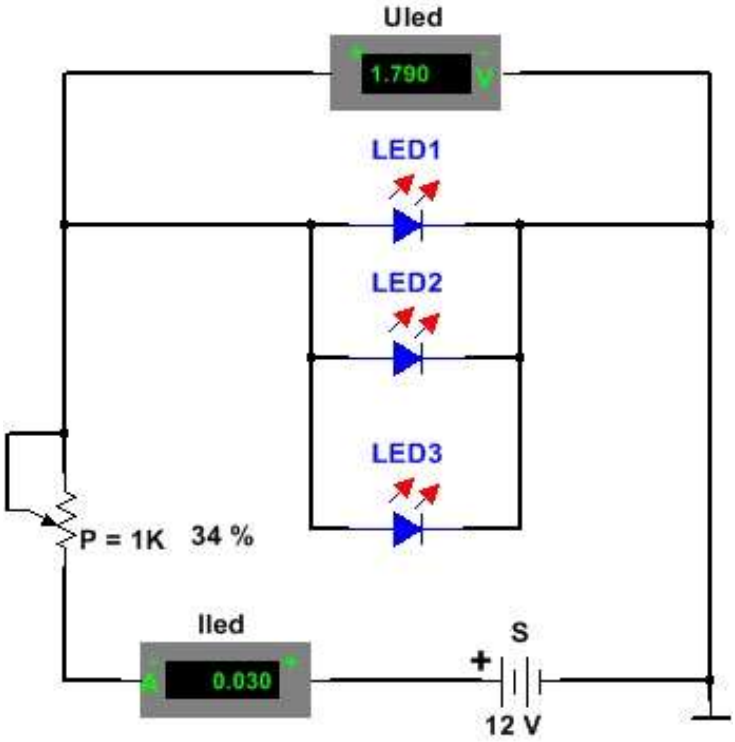


Figura 8.46 Conectarea LED-urilor în paralel

6. Considerând: **U_{LED} = 1,7 V** și **I_{LED} = 10 mA** se calculează valoarea rezistenței de polarizare a LED-urilor cu formula:

$$R[\Omega] = \frac{U_S - U_{LED}}{3 \cdot I_{LED}[mA]} \cdot 1000 \ ;$$

7. Se realizează practic montajul conform schemei din **figura 8.46** în care se înlocuiește potențiometrul P cu un rezistor care are valoare apropiată de valoarea calculată la punctul (**6**);
8. Se citesc valorile indicate de multimetrele din circuit și se compară aceste valori cu cele indicate de multimetrele din schema realizată cu simulatorul.

REZUMATUL CAPITOLULUI

- ***Fotorezistorul*** este un dispozitiv electronic, a cărui rezistenţă electrică se modifică sub acţiunea unui flux luminos care cade pe suprafaţa sensibilă a acestuia.

- ***Fotodioda*** este o diodă a cărei funcționare este dependentă de intensitatea fluxului luminos care cade asupra sa.

- Fotodioda funcționează numai în polarizare inversă.

- Fotodioda se conectează în circuit întotdeauna în serie cu un rezistor care limitează curentul prin ea.

- ***Fototranzistorul*** este un tranzistor cu joncţiunea bază-colector fotosensibilă.

- 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.

- 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.

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

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

- Rezistența de polarizare a n LED-uri conectate în serie se calculează cu formula:

$$\boldsymbol{R}[\Omega] = \frac{\boldsymbol{V_{CC}}[\boldsymbol{V}] - (\boldsymbol{V_{LED1}} + \boldsymbol{V_{LED2}} + \cdots . \boldsymbol{V_{LEDn}})[\boldsymbol{V}]}{\boldsymbol{I_{LED}}[\boldsymbol{mA}]} \cdot \mathbf{1000}$$

- Rezistența de polarizare a n LED-uri conectate în paralel se calculează cu formula:

$$\boldsymbol{R}[\Omega] = \frac{\boldsymbol{V_{CC}}[\boldsymbol{V}] - \boldsymbol{V_{LED}}[\boldsymbol{V}]}{\boldsymbol{n} \cdot \boldsymbol{I_{LED}}[\boldsymbol{mA}]} \cdot \mathbf{1000}$$

- ***Afişajele 7 segmente*** se construiesc în două variante: cu anodul comun şi cu catodul comun şi sunt prevăzute cu 10 terminale.

- Afişajul este format din 7 segmente, fiecare segment de afişaj este un led.

- 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**) .

- **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.

- 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.

- ***Fibra optică*** – este o fibră din plastic sau sticlă care transportă lumină de-a lungul său.

- 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.

- 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.

- **Fibra optică** este compusă din trei elemente de bază:
    - miez (fibra de sticlă);
    - strat protector (izolaţia optică a fibrei);
    - înveliş protector (amortizor) .

- **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.

EVALUAREA CUNOȘTINȚELOR

I Încercuiește varianta sau variantele de răspuns corectă.

1. Rezistența electrică a unui fotorezistor :
   a. Crește odată cu creșterea intensității fluxului luminos;
   b. Scade odată cu creșterea intensității fluxului luminos;
   c. Crește odată cu scăderea intensității fluxului luminos;
   d. Scade odată cu scăderea intensității fluxului luminos;
2. Rezistența internă a unei fotodiode:
   a. Crește la intensificarea fluxului luminos când este polarizată direct;
   b. Scade la intensificarea fluxului luminos când este polarizată direct;
   c. Crește la intensificarea fluxului luminos când este polarizată invers;
   d. Scade la intensificarea fluxului luminos când este polarizată invers;
3. LED-ul:
   a. Produce lumină la polarizare inversă;
   b. Produce lumină la polarizare directă;
   c. Sesizează lumină la polarizare directă;
   d. Sesizează lumină la polarizare inversă;
4. Curentul de bază al unui fototranzistor este determinat de:
   a. Tensiunea de polarizare;
   b. Fluxul luminos care acționează asupra regiunii fotosensibile;
   c. Valoarea rezistenței conectate în serie cu joncțiunea colector-emitor.
5. Fluxul luminos aplicat unui fototranzistor comandă:
   a. Tensiunea bază-emitor;
   b. Curentul din bază;
   c. Tensiunea colector-emitor;
   d. Curentul din colector.
6. Optocuplorul este un dispozitiv format din:
   a. Un LED și o diodă;
   b. Un LED și o fotodiodă;
   c. Un LED și un fototranzistor;
   d. O fotodiodă și un fototranzistor.

II. a. În schema din **figura 8.47** se utilizează două LED-uri roșii cu U_{LED} **= 1,8 V** și I_{LED} **= 15 mA**. Dacă tensiunea de alimentare **Vcc = 12 V** calculați R_{LED}**.**

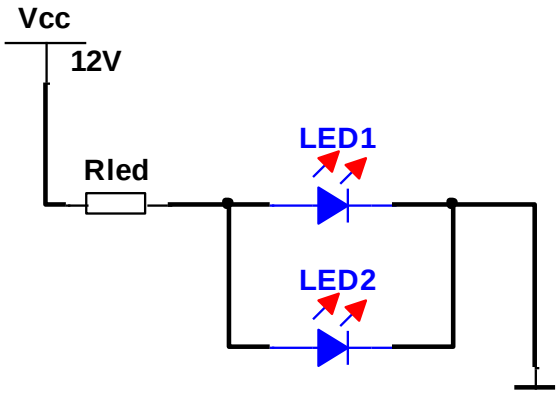


Figura 8.47 Polarizarea LED-urilor conectate în paralel

b. În schema din **figura 8.48** se utilizează două LED-uri verzi cu U_{LED} **= 2,1 V** și I_{LED} **= 10 mA**. Dacă tensiunea de alimentare **Vcc = 15 V** calculați R_{LED}**.**

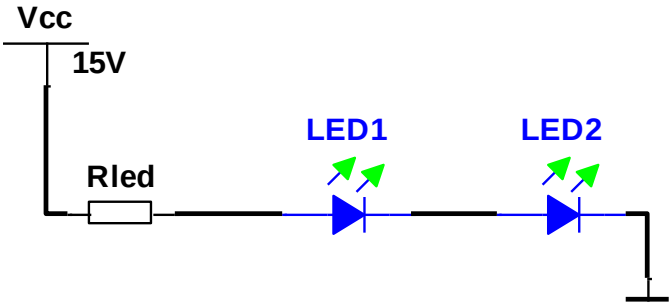


Figura 8.48 Polarizarea LED-urilor conectate în serie

c. În schema din **figura 8.49** se utilizează un LED verde cu U_{LED} **= 2,1 V** și I_{LED} **= 15 mA**. Dacă tensiunea de alimentare **Vcc = 15 V** calculați R_C**.**

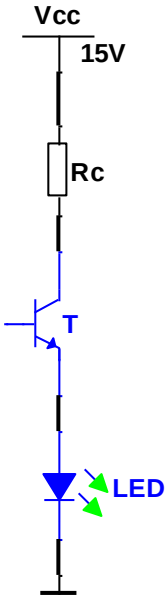


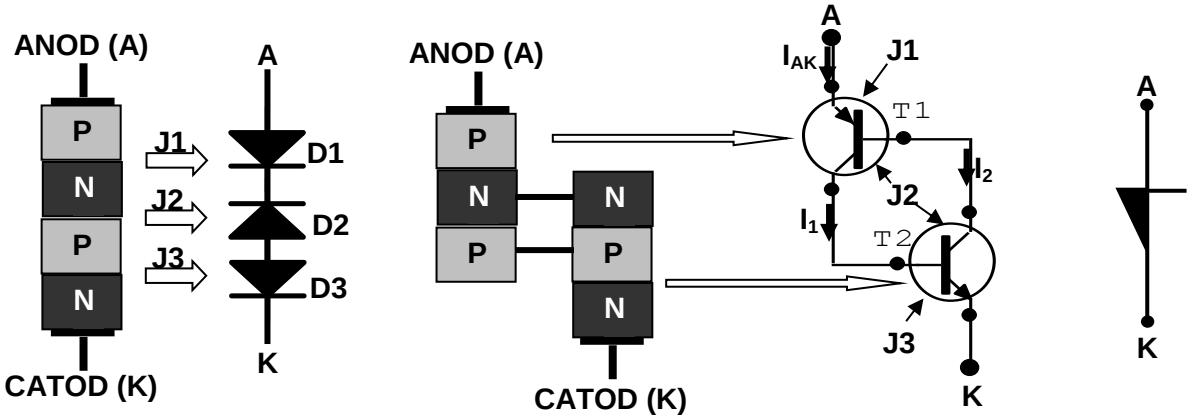
Figura 8.49 Polarizarea unui LED conectat în serie cu un tranzistor

CAPITOLUL 9. DISPOZITIVE MULTIJONCȚIUNE

9.1. DIODA SHOCKLEY

9.1.1 STRUCTURĂ ŞI SIMBOL

Dioda Shockley este alcătuită din patru straturi succesive semiconductoare **P-N-P-N** , trei joncţiuni **PN** (**figura 9.1 a**). Structura diodei Shockley poate fi reprezentată printr-un circuit echivalent format din două tranzistoare pnp şi npn conectate ca în **figura 9.1 b**. Dioda este prevăzută cu două terminale **anod** conectat la prima regiune de tip **P** şi **catod** conectat la ultima regiune de tip **N**.



a. Structură cu diode **b**. Structură cu tranzistori **c**. Simbol

Figura 9.1 Structura şi simbolul diodei Shockley

9.1.2 FUNCŢIONAREA DIODEI SHOCKLEY.

În cazul structurii cu diode, dioda funcţionează astfel: dacă tensiunea dintre anod şi catod este pozitivă, diodele **D1** şi **D2** sunt polarizate direct, intră în conducţie şi toate tensiunea dintre anod şi catod se aplică diodei **D2** care este polarizată invers. Când valoarea tensiunii dintre anod şi catod depăşeşte valoarea tensiunii de străpungere a diodei **D2** (numită şi **tensiune directă de întoarcere – V_{BR}**), dioda D2 intră în conducţie inversă iar prin dioda Shockley circulă curent care este limitat numai de circuitul exterior, rezistenţa internă a diodei devenind foarte mică. Odată amorsată, dioda Shockley nu se blochează chiar dacă valoarea tensiunii dintre anod şi catod scade sub valoarea tensiunii de străpungere a diodei **D2**. Dioda Shockley se blochează când curentul prin ea scade sub o anumită valoare, denumită **curent de menţinere (I_H)**. Pentru a explica acest fenomen se prezintă funcţionarea structurii cu tranzistori a diodei.

La amorsarea diodei Shockley prin ea circulă un curent I_{AK}. Acest curent favorizează apariţia curentului I_1 în colectorul tranzistorului **T1**, care este şi curent de bază pentru tranzistorul **T2**. Prin urmare apare curentul de colector I_2 în colectorul tranzistorului **T2** (unde $I_2 = I_1 \cdot \beta_2$). Curentul de colector I_2 al tranzistorului **T2** este şi curent de bază al tranzistorului **T1**. Acest curent determină creşterea curentului de colector I_1 al tranzistorului **T1** (unde $I_1 = I_2 \cdot \beta_1$).

Prin urmare apare **fenomenul de reacţie internă**: curentul I_{AK} determină apariţia curentului I_1, I_1 determină creşterea lui I_2, I_2 determină creşterea suplimentară a lui I_{AK} şi aşa mai departe, fenomenul se repetă până la intrarea în saturaţie a celor două tranzistoare.

Dacă după amorsarea diodei Shockley tensiunea V_{AK} a diodei scade sub valoarea tensiunii directe de întoarcere, curentul prin diodă I_{AK} nu dispare, el fiind menţinut de reacţia pozitivă internă. Dioda se va bloca când curentul prin diodă scade sub o anumită valoare denumită curent de menţinere I_H **(figura 9.2).**

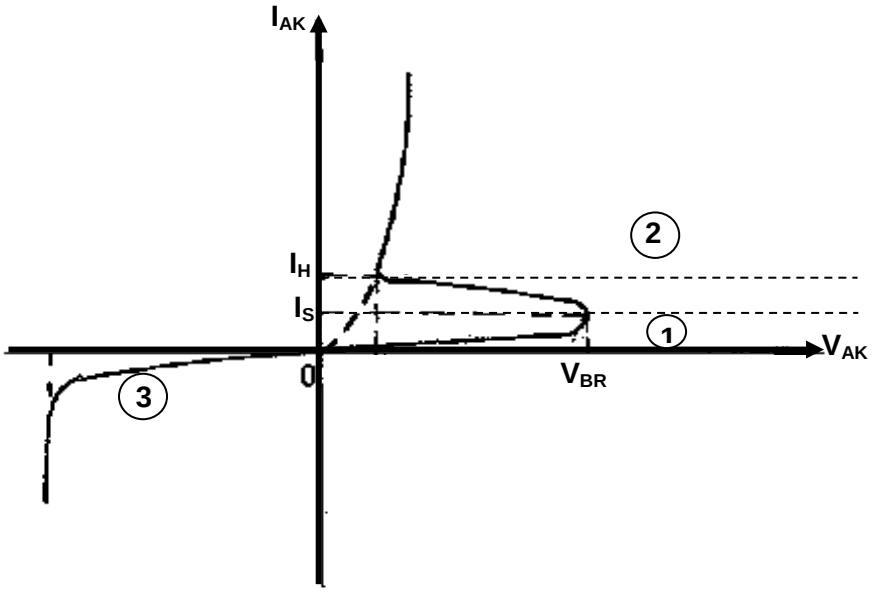


Figura 9.2 Graficul caracteristicii diodei Shockley

Dioda Shockley are trei zone de funcţionare:

1. **Polarizată direct, blocată –** este zona în care dioda este polarizată direct dar valoarea tensiunii nu depăşeşte valoarea **tensiunii directe de întoarcere (V_{BR}).** În această situaţie curentul prin diodă este neglijabil. Dioda este blocată şi se comportă ca un contact deschis;

2. **Polarizată direct, în conducţie –** este zona în care valoarea tensiunii de polarizare a diodei depăşeşte valoarea tensiunii directe de întoarcere. Tensiunea pe diodă scade brusc, la o valoarea neglijabilă, iar curentul prin diodă creşte, este mai mare decât un curent minim numit **curent de menţinere (I_H)**. Dioda este în conducţie şi se comportă ca un contact închis;

3. **Polarizată invers, blocată –** este zona în care dioda este polarizată invers dar valoarea tensiunii de polarizare nu depăşeşte valoarea tensiunii inverse maxime iar curentul prin diodă este neglijabil.

Trecerea în starea de conducţie *se face prin* ***depăşirea tensiunii directe de întoarcere.***

Trecerea în starea de blocare *se face prin* ***scăderea curentului sub valoarea curentului de menţinere.***

9.2. TIRISTORUL

9.2.1 STRUCTURĂ ŞI SIMBOL

Tiristorul este alcătuită din patru straturi succesive semiconductoare **P-N-P-N** , trei joncţiuni **PN**. Structura tiristorului poate fi reprezentată printr-un circuit echivalent format din două tranzistoare pnp şi npn conectate ca în **figura 9.3**. Tiristorul este prevăzut cu trei terminale **anod (A)** conectat la prima regiune de tip **P**, **catod (K)** conectat la ultima regiune de tip **N** şi **poartă sau grilă (G)** conectată la a doua regiune de tip **P.**

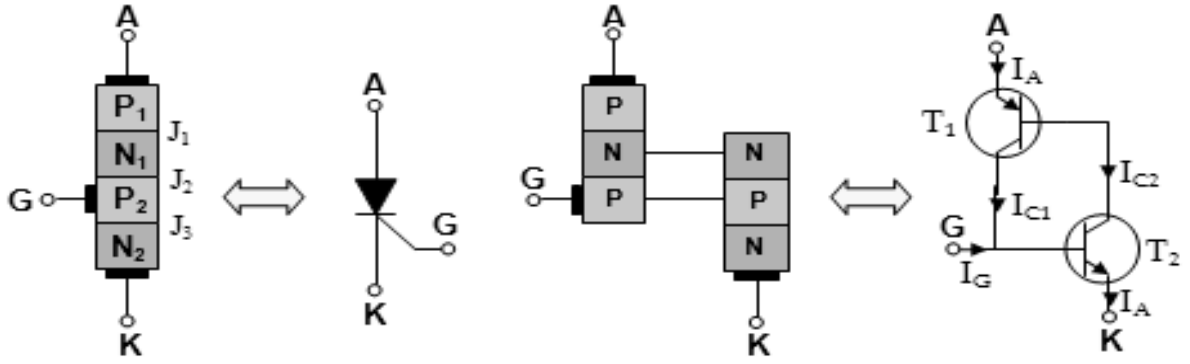


Figura 9.3 Structura şi simbolul tiristorului

Notarea tiristorului: T 1 N 4

- **4** – V_R – tensiunea inversă în **sute** de volţi
- **N** – normal , **R** - rapid
- **1** – I_{FAV} – curentul maxim în **amperi**
- **T** – Tiristor

9.2.2 PARAMETRII ELECTRICI AI TIRISTORULUI

Principalii parametricii electrici ai tiristorului sunt:

- **Tensiunea de străpungere în direct (V_{BR}; V_{DRM})[V]** – reprezintă valoarea tensiunii dintre anodul și catodul tiristorului, ***la polarizare directă***, la care tiristorul se străpunge;
- **Tensiunea inversă continuă (V_R; V_{RM}; V_{RRM}))[V]** – reprezintă valoarea tensiunii dintre anodul și catodul tiristorului, ***la polarizare inversă***, la care tiristorul se străpunge;
- **Tensiunea de amorsare, de poartă (V_{GT}))[V]** – reprezintă tensiunea pentru care tiristorul comută din starea de blocare în starea de conducție (amorsează) la o valoare relativ mică a tensiunii anod – catod;
- **Curentul direct de poartă de amorsare(I_{GT})[A]** – reprezintă valoarea curentului din grila tiristorului pentru care acesta amorsează dacă tensiunea anod-catod este pozitivă;

- **Curentul direct de menținere (I_H; I_{HOLD})[A]** – reprezintă valoarea minimă a curentului prin tiristor de la anod la catod, necesar pentru menținerea tiristorului amorsat în stare de conducție.

9.2.3 FUNCŢIONAREA TIRISTORULUI.

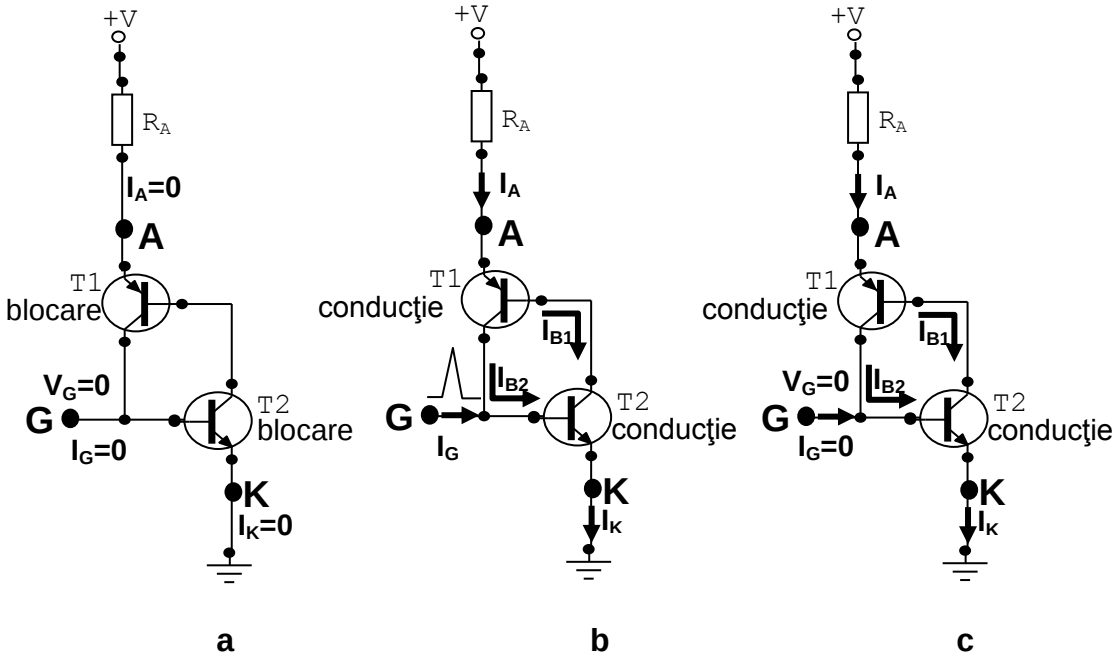


Figura 9.4 Funcţionarea tiristorului în circuit

Când curentul şi tensiunea la grila tiristorului este zero (**fig. 9.4 a**), tiristorul este blocat. Prin el nu circulă curent şi se comportă ca un întrerupător deschis.

Dacă pe poartă se aplică un impuls pozitiv de tensiune (**fig. 9.4 b**), curentul din grila tiristorului deschide tranzistorul T2 iar prin colectorul tranzistorului T2 circulă curentul I_{B1}. Acest curent deschide tranzistorul T1 iar prin colectorul tranzistorului T1 circulă curentul I_{B2}.

Curentul de colector al tranzistorului T1 suplimentează curentul de bază al tranzistorului T2 în aşa fel încât acest tranzistor să rămână în conducţie şi după dispariţia impulsului de amorsare din grila tiristorului. Se formează o buclă în care tranzistorul T1 susţine funcţionarea tranzistorului T2, iar tranzistorul T2 susţine funcţionarea tranzistorului T1 şi după dispariţia impulsului de amorsare din grila tiristorului (**fig. 9.4 c**).

După amorsare, prin tiristor circulă curent şi se comportă ca un întrerupător închis.

După ce a fost amorsat tiristorul va comuta în starea de blocare numai dacă curentul anodic I_A scade sub valoarea curentului de menţinere I_H.

Blocarea unui tiristor în conducţie se poate face în două moduri:

- conectarea în circuitul anodic a unui întreruptor şi deschiderea acestuia (**întreruperea curentului anodic**);
- conectarea între anod şi catod, prin intermediul unui întrerupător, a unei surse de tensiune care la închiderea întrerupătorului să polarizeze invers tiristorul (**comutarea forţată**).

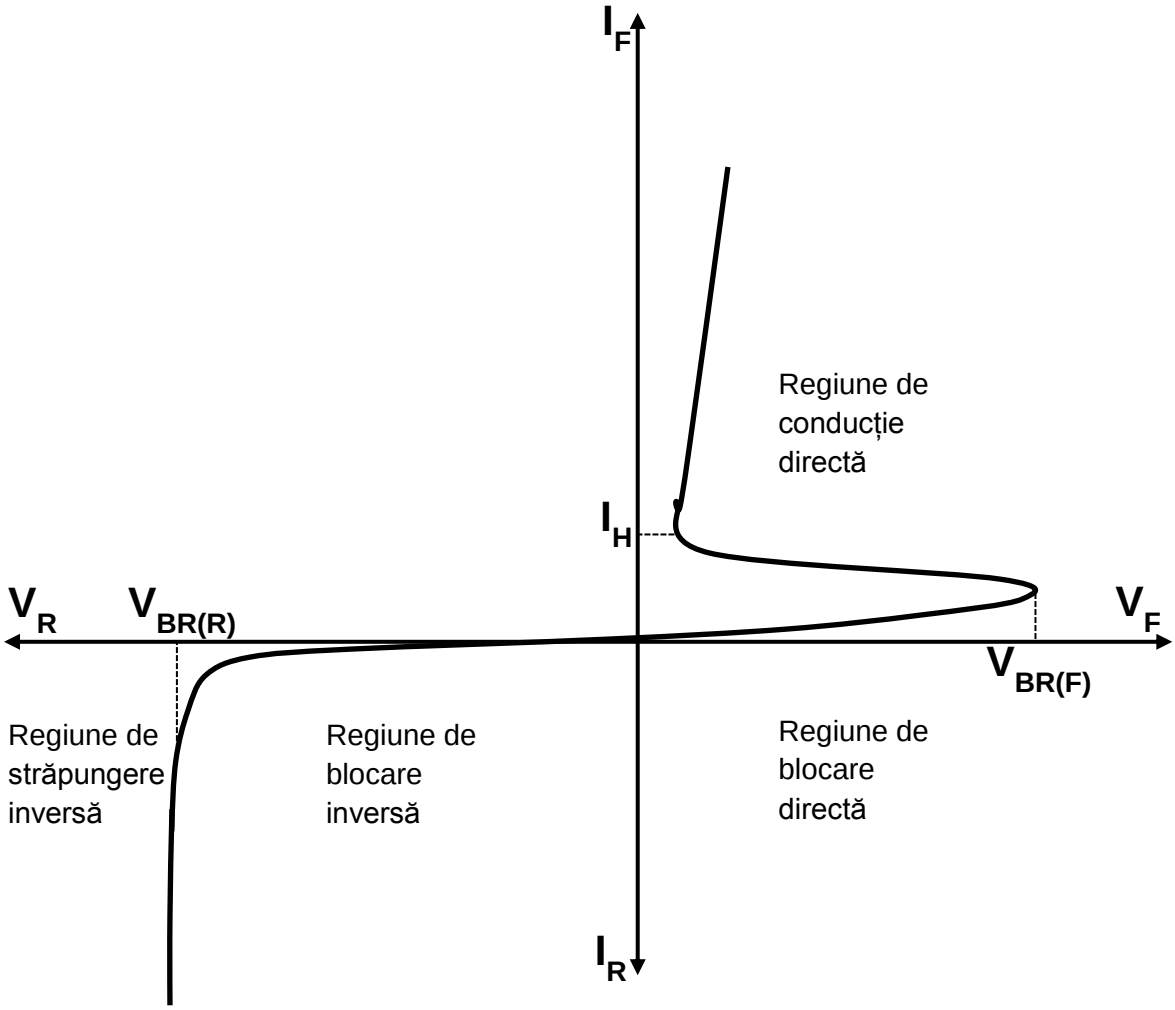


Figura 9.5 Curba de funcționare a tiristorului

9.2.4 IDENTIFICAREA TERMINALELOR TIRISTORULUI.

a. Cu multimetrul

Identific grila (G) - între grilă **(G)** şi catod **(C)** rezistenţa electrică indicată de aparat într-un sens este mică şi în celălalt sens este mare. Între grilă **(G)** şi anod **(A)** în ambele sensuri rezistenţa electrică este f. mare. La unele tiristoare care au o rezistenţă internă între grilă şi catod, multimetrul va indica în ambele sensuri rezistenţă când este conectat între **G** şi **A**.

Conectez tastele aparatului în sensul în care între 2 terminale ale tiristorului rezistenţa electrică este mică. În această situaţie terminalul pe care este tasta **+** a aparatului este grila **G** iar terminalul pe care este tasta **–** a aparatului este catodul **K**.

b. După capsula tiristorului.

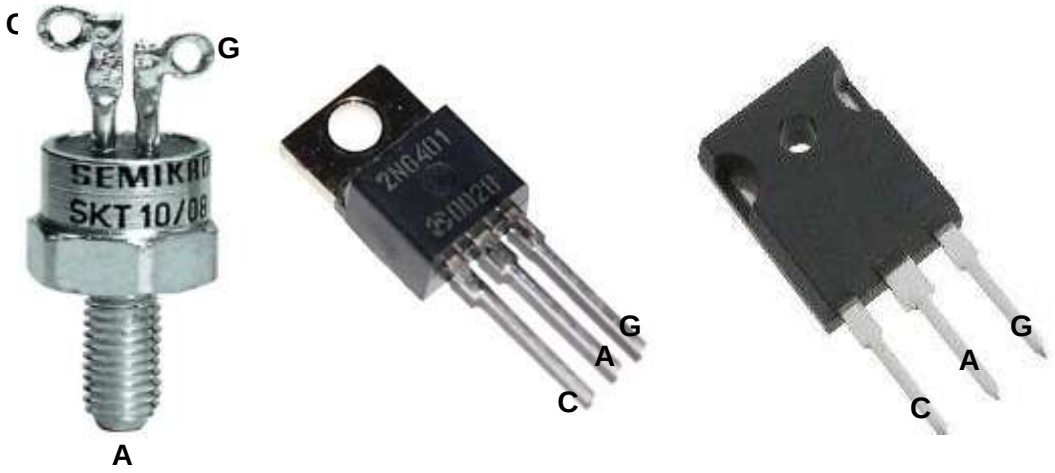


Figura 9.6 Identificarea terminalelor tiristorului în funcţie de tipul capsulei

C – Catod , A – Anod , G – Grilă sau Poartă

SIMULARE CU AJUTORUL CALCULATORULUI

VERIFICAREA TIRISTORULUI ÎN CIRCUIT

- **OBIECTIVE:**
  - Realizarea cu ajutorul simulatorului a unei scheme electronice de simulare a comportării tiristorului în circuit;
  - Analiza comportamentului tiristorului într-un circuit.
- **RESURSE:**
  - Calculator;
  - Program de simulare scheme electronice.
- **DESFĂȘURAREA LUCRĂRII:**

1. Se realizează cu simulatorul schema din **figura 9.7. a**;

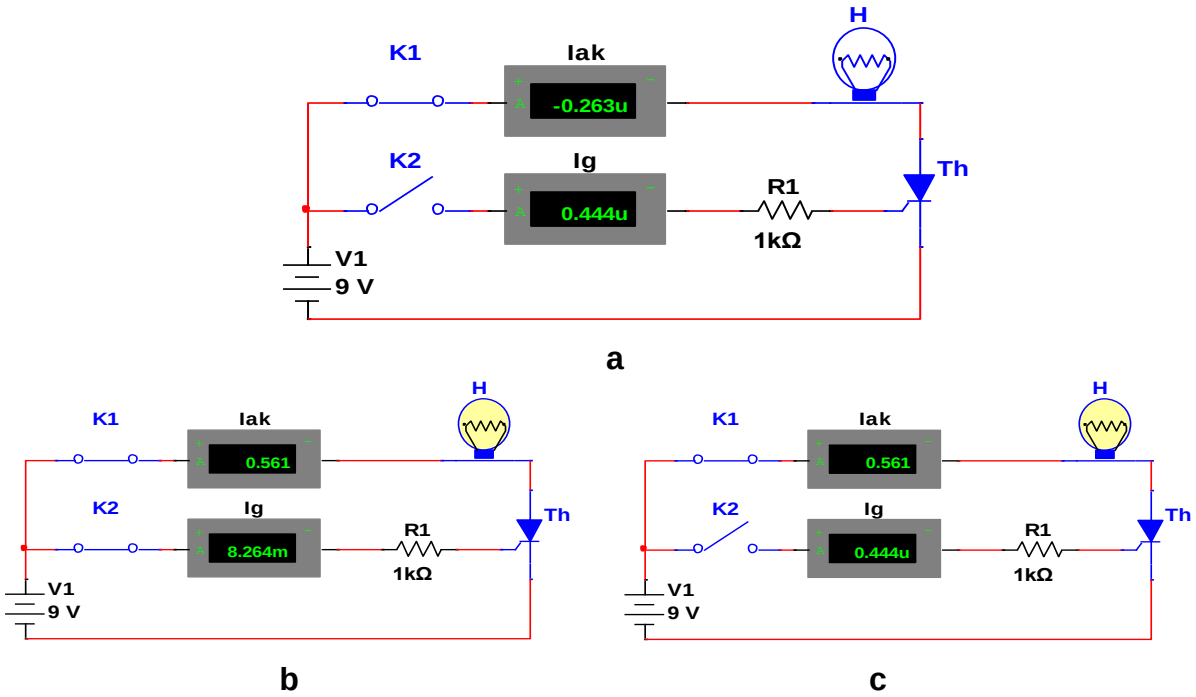


Figura 9.7 Simularea verificării tiristorului în circuit

2. Se observă că tiristorul este **blocat** (lampa H nu luminează) deoarece întrerupătorul **K2** fiind **deschis** nu permite polarizarea grilei tiristorului;

3. Se simulează **închiderea** întrerupătorului **K2** (**figura 9.7 b**) și se observă că tiristorul intră în **conducție** (lampa H luminează). Curentul din grila tiristorului **Ig** crește la 8,2 mA iar prin tiristor circulă de la Anod la Catod un curent de 0,5 A;

4. Se simulează **deschiderea** întrerupătorului **K2** (**figura 9.7 c**) și se observă că tiristorul rămâne în conducție (lampa H luminează) cu toate că prin grila tiristorului nu mai circulă curent;

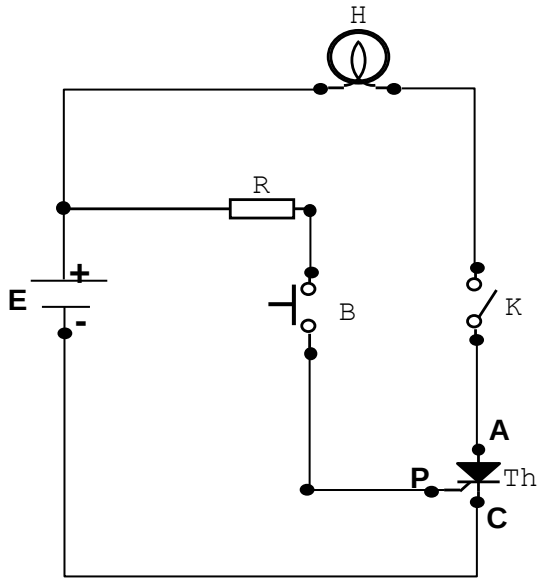
5. Dacă se simulează **deschiderea** întrerupătorului **K1** tiristorul se **blochează** (lampa H nu mai luminează).

LUCRARE DE LABORATOR

VERIFICAREA UNUI TIRISTOR ÎN CIRCUIT.

- **OBIECTIVE:**
  - Realizarea schemei de verificare a tiristorului cu simulatorul;
  - Realizarea practică a circuitului de verificare a tiristorului;
  - Analiza comportamentului tiristorului în circuit.
- **RESURSE:**
  - Multimetre digitale;
  - Pistoale de lipit, accesorii pentru lipit, conductoare;
  - Plăcuțe de lucru;
  - Rezistoare, lampă electrică, buton cu revenire, întrerupător;
  - Tiristoare.
- **DESFĂȘURAREA LUCRĂRII:**

1. Se realizează cu simulatorul schema electronică din **figura 9.8**;



Valoarea rezistenţei rezistorului **R** se calculează în funcţie de curentul de amorsare (**I_H**) a tiristorului şi valoarea tensiunii de alimentare a sursei **E**.

Pentru tiristori de tipul **T1N…….** curentul de amorsare se consideră **10 mA.**

$$R[\Omega] = \frac{E[V]}{I_H[mA]} \cdot 1000$$

B – buton pentru amorsare

Figura 9.8 Circuit pentru verificarea unui tiristor

2. Se realizează practic, pe placa de lucru, montajul din **figura 9.8**;

3. Se închide întrerupătorul **K2** și se observă că lampa **H** nu luminează deoarece tiristorul este blocat în lipsa unui curent de amorsare în grilă;

4. Se aplică un impuls pozitiv pe grila tiristorului prin activarea butonului **B**, moment în care se observă că lampa **H** luminează deoarece tiristorul intră în conducţie;

5. Se dezactivează (deschide) butonului **B** și se observă că lampa **H** continuă să lumineze, deci tiristorul rămâne în conducţie chiar în lipsa curentului în grilă;.

6. Se deschide întrerupătorul **K** și se observă că lampa **H** nu mai luminează deoarece în lipsa tensiunii anod-catod tiristorul s-a blocat**.**

9.3. DIACUL ŞI TRIACUL

9.3.1 DIACUL

Diacul este format din cinci straturi succesive semiconductoare **N-P-N-P-N**, care după amorsare poate conduce în ambele sensuri.

Diacul este prevăzut cu două terminale **ANOD 1 (A1)** conectat la prima regiune de tip **N** şi **ANOD 2 (A2)** conectat la ultima regiune de tip **N**.

Diacul este format din două tiristoare conectate în paralel în sensuri opuse (**fig. 9.9**).

a. STRUCTURA ŞI SIMBOLUL DIACULUI.

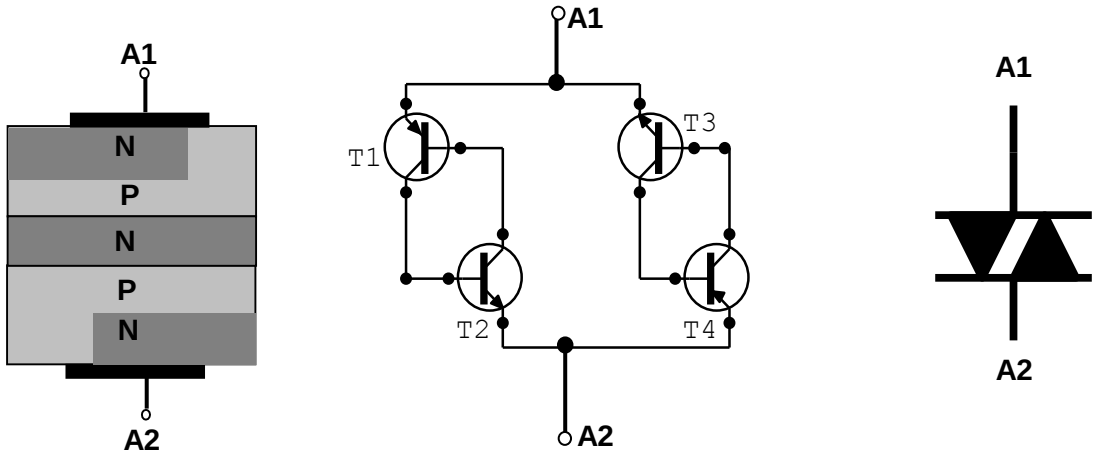


Figura 9.9 Structura şi simbolul diacului

b. FUNCŢIONAREA DIACULUI.

1. Când **A1** este mai pozitiv decât **A2** iar tensiunea dintre **A1** şi **A2** este mai mare decât tensiunea de amorsare (întoarcere) $\mathbf{V_{Bo}}$ - diacul amorsează şi conduce de la **A1** spre **A2** (în acest caz conduc tranzistoarele **T1** şi **T2**)

2. Când **A2** este mai pozitiv decât **A1** iar tensiunea dintre **A21** şi **A1** este mai mare decât tensiunea de amorsare (întoarcere) $\mathbf{V_{Bo}}$ - diacul amorsează şi conduce de la **A2** spre **A1** (în acest caz conduc tranzistoarele **T3** şi **T4**)

Diacul se blochează când curentul scade sub valoarea menţinere $\mathbf{I_H}$

c. UTILIZAREA DIACULUI

Diacul (dioda de curent alternativ) – este utilizat în circuite de curent alternativ. Fiind un dispozitiv de putere mică se utilizează pentru comanda tiristoarelor şi triacelor. Deoarece conduce în ambele sensuri se utilizează în special pentru generarea impulsurilor de comandă ale triacelor.

9.3.2 TRIACUL

Triacul – este un diac cu un terminal de poartă.
Triacul este format din două tiristoare conectate în paralel în sensuri opuse cu terminalul de poartă comun (**figura 9.9**).
Spre deosebire de tiristor, **triacul poate conduce** după amorsare **în ambele sensuri**, în funcţie de modul de polarizare a terminalelor **A1** şi **A2.**

a. STRUCTURA ŞI SIMBOLUL TRIACULUI.

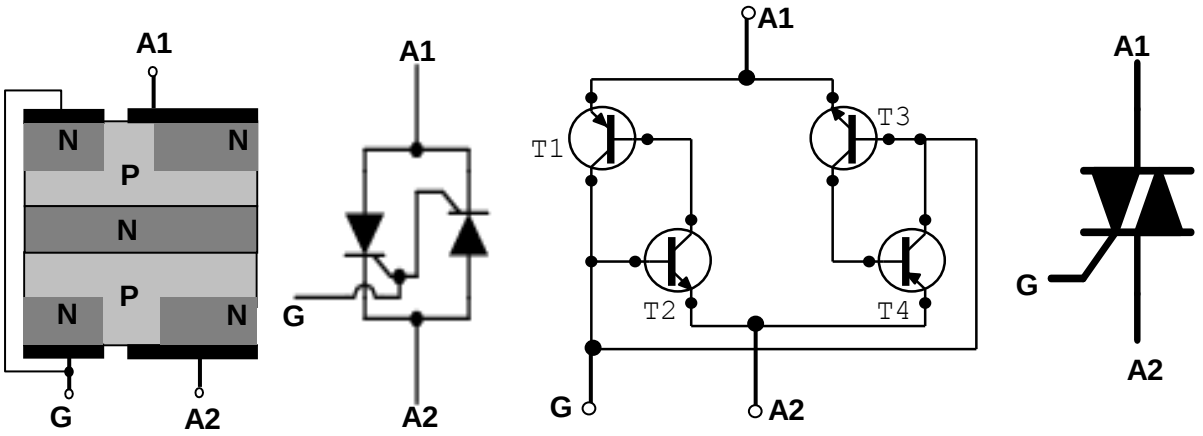


Figura 9.10 Structura şi simbolul triacului

b. FUNCŢIONAREA TRIACULUI.

1. Când **A1** este mai pozitiv decât **A2** iar pe poarta **G** se aplică un impuls pozitiv triacul amorsează şi conduce de la **A1** spre **A2** (în acest caz conduc tranzistoarele **T1** şi **T2**).
2. Când **A2** este mai pozitiv decât **A1** iar pe poarta **G** se aplică un impuls pozitiv triacul amorsează şi conduce de la **A2** spre **A1** (în acest caz conduc tranzistoarele **T4** şi **T3**) **.**

c. IDENTIFICAREA TERMINALELOR TRIACULUI.

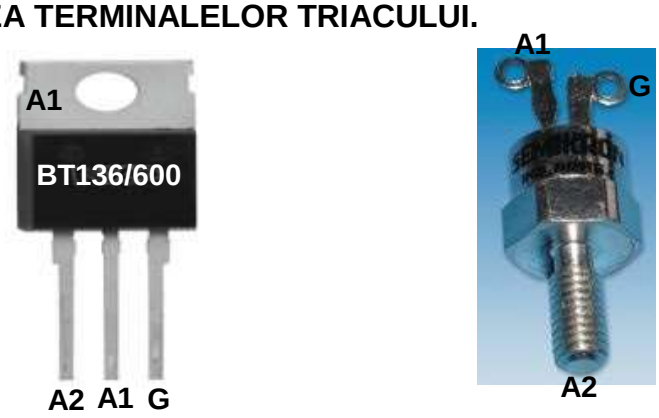


Figura 9.11 Triace

Cu multimetrul se măsoară rezistenţa între **A1** şi **G**.
În ambele sensuri rezistenţa trebuie să fie mică (câteva sute de ohmi).
Între **A2** şi celelalte 2 terminale rezistenţa electrică este foarte mare.

LUCRARE DE LABORATOR

VERIFICAREA UNUI TRIAC ÎN CIRCUIT.

- **OBIECTIVE:**
  - Realizarea schemei de verificare a triacului cu simulatorul;
  - Realizarea practică a circuitului de verificare a triacului;
  - Analiza comportamentului triacului în circuit.
- **RESURSE:**
  - Multimetre digitale;
  - Pistoale de lipit, accesorii pentru lipit, conductoare;
  - Plăcuțe de lucru;
  - Rezistoare, potențiometre;
  - LED-uri;
  - Triace.
- **DESFĂȘURAREA LUCRĂRII:**

1. Se realizează cu simulatorul schema electronică din **figura 9.12**;

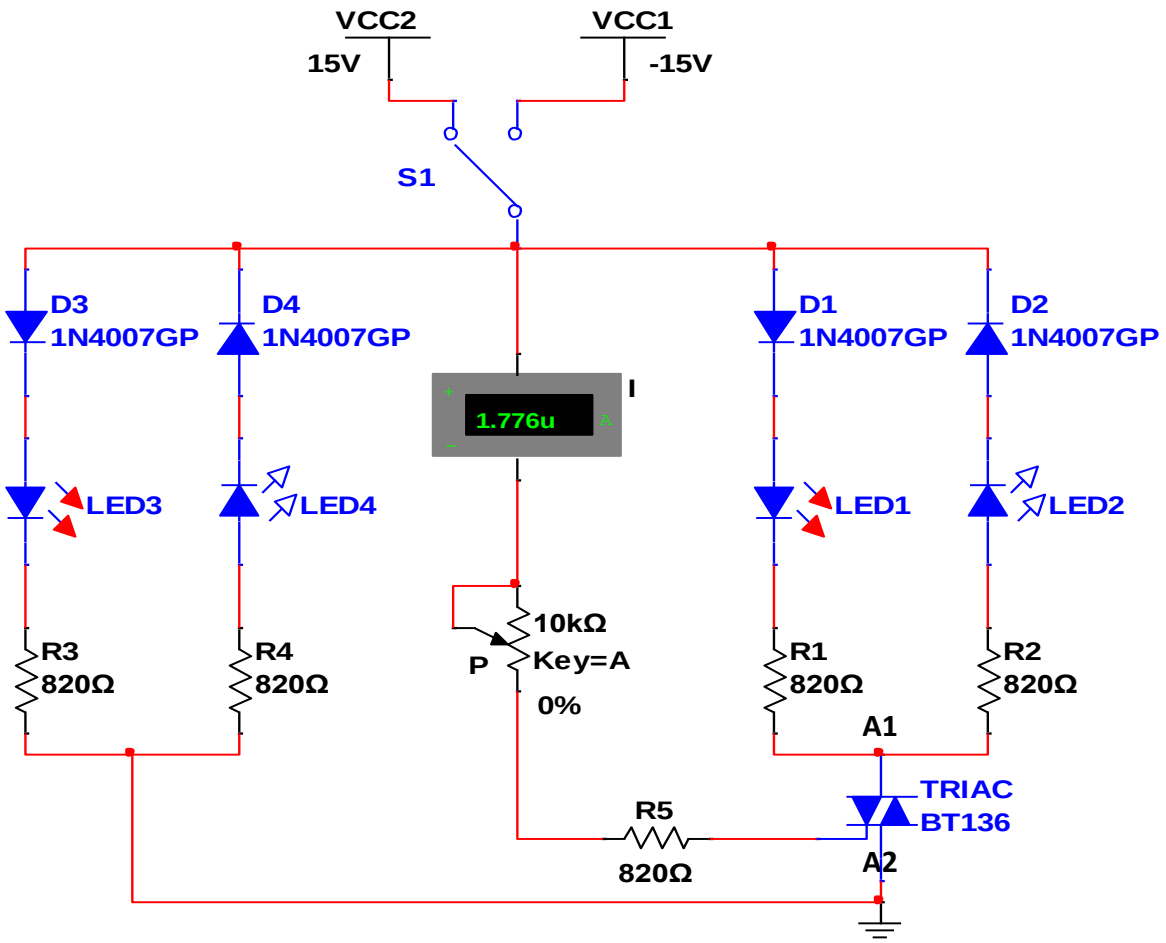


Figura 9.12 Circuit de verificare a triacului. Triacul conduce de la A1 la A2.

2. Se realizează practic, pe placa de lucru, montajul din **figura 9.12**;

ROLUL ELEMENTELOR SCHEMEI ELECTRONICE:

- **LED 3** şi **LED 4** indică polaritatea grilei triacului:
  - **LED 3** indică **+** ;
  - **LED 4** indică **–** ;
- **LED 1** şi **LED 2** indică funcţionarea şi sensul de parcurgere a triacului:
  - **LED 1** sensul de parcurgere este de la **A1** la **A2;**
  - **LED 2** sensul de parcurgere este de la **A2** la **A1**) ;
- Diodele **D1..D4** protejează led-urile la polarizare inversă;
- Potenţiometrul **P** se utilizează pentru blocarea triacului. Potenţiometrul **P** este la valoare minimă (**P = 0Ω**);
- Ampermetru **A** se utilizează pentru vizualizarea curentului la care se blochează triacul;

3. Se fixează comutatorul **K** este pe poziţia **+15 V** și se observă că luminează **LED 1** şi **LED 3 (led-urile roşii)**. Grila **G** este pozitivă faţă de **A2** şi triacul conduce de la **A1** la **A2** (**figura 9.12**);

4. Se fixează comutatorul **K** este pe poziţia **-15 V** și se observă că luminează **LED 2** şi **LED 4 (led-urile verzi)**. Grila **G** este negativă faţă de **A2** şi triacul conduce de la **A2** la **A1**(**figura 9.13**);

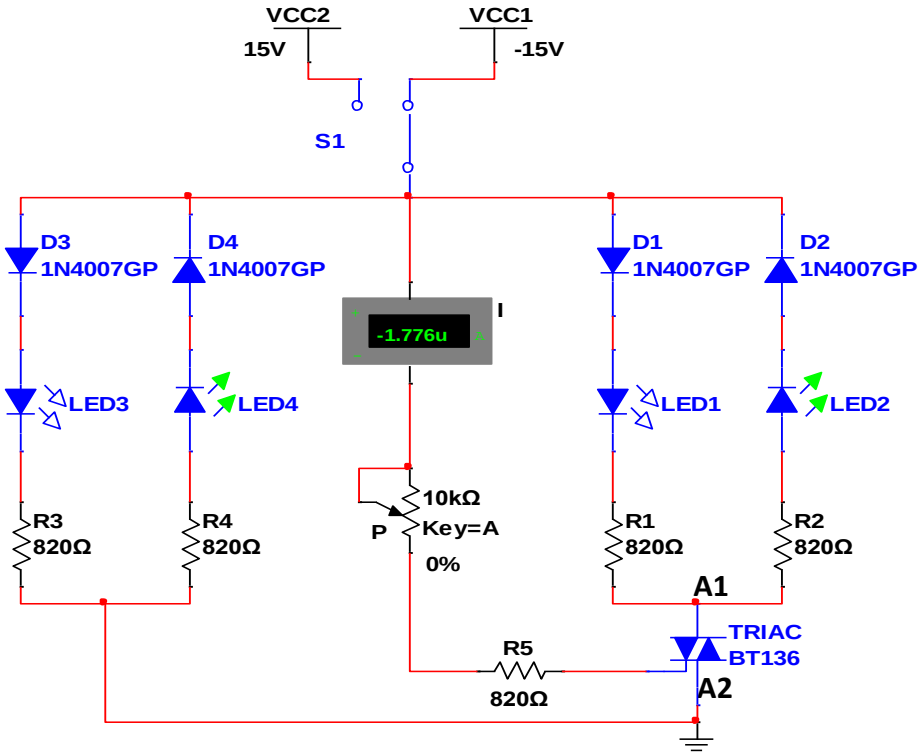


Figura 9.13 Circuit de verificare a triacului. Triacul conduce de la A2 la A1.

5. Se roteşte potenţiometrul **P** spre maxim până ce triacul se blochează. Se observă valoarea curentului la care triacul se blochează.

.

REZUMATUL CAPITOLULUI

- ***Dioda Shockley*** este un dispozitiv alcătuit din patru straturi succesive semiconductoare **P-N-P-N** , trei joncţiuni **PN**, prevăzut cu două terminale (anod și catod).
- **Dioda Shockley** trece în stare de conducție când tensiunea aplicată la terminalele sale depășește tensiunea de străpungere (întoarcere) .
- **Dioda Shockley** trece în starea de blocare când valoarea curentului prin diodă scade sub valoarea curentului de menţinere.
- ***Tiristorul*** este un dispozitiv alcătuit din patru straturi succesive semiconductoare **P-N-P-N** , trei joncţiuni **PN**, prevăzut cu trei terminale (anod, catod, grilă).
- **Tiristorul** trece în stare de conducție când pe grilă este aplicat un impuls de tensiune continuă pozitivă.
- **Tiristorul** trece în stare de blocare când valoarea curentului din anod scade sub valoarea curentului de menținere.
- **Diacul** este un dispozitiv format din cinci straturi succesive semiconductoare **N-P-N-P-N**, are două terminale (anod 1 și anod 2), care după amorsare poate conduce în ambele sensuri.
- **Diacul** este un dispozitiv bidirecțional format din două tiristoare conectate în paralel în sensuri opuse.
- **Diacul** trece în stare de conducție când tensiunea aplicată la terminalele sale depășește tensiunea de străpungere (întoarcere);
- **Diacul** trece în starea de blocare când valoarea curentului prin diac scade sub valoarea curentului de menţinere.
- **Triacul** – este un dispozitiv format din cinci straturi succesive semiconductoare **N-P-N-P-N**, are trei terminale (anod 1, anod 2, grilă), care după amorsare poate conduce în ambele sensuri.
- **Triacul** este format din două tiristoare conectate în paralel în sensuri opuse cu terminalul de poartă comun.
- **Triacul** trece în stare de conducție când pe grilă este aplicat un impuls de tensiune continuă pozitivă și conduce într-un sens determinat de polaritatea tensiunii aplicate între cele două terminale de anod;
- **Triacul** trece în stare de blocare când valoarea curentului din anod scade sub valoarea curentului de menținere.

EVALUAREA CUNOȘTINȚELOR

I Încercuiește varianta sau variantele de răspuns corectă.

1. Structura diodei Shockley este echivalentă cu :
   a. Două diode;
   b. Două tranzistoare;
   c. Două tiristoare;
2. Dioda Shockley se blochează când:
   a. Curentul prin diodă scade sub valoarea curentului de menținere;
   b. Tensiunea la bornele diodei scade sub valoarea tensiunii de străpungere;
   c. Atât curentul prin diodă cât și tensiunea la bornele ei scad;
3. Tiristorul este un dispozitiv prevăzut cu:
   a. Două joncțiuni pn;
   b. Trei joncțiuni pn;
   c. Patru joncțiuni pn;
4. Tiristorul trece din starea de conducție în starea de blocare prin:
   a. Polarizarea inversă între anod și catod;
   b. Scăderea curentului prin tiristor sub valoarea curentului de menținere;
   c. Întreruperea curentului din grilă;
   d. Întreruperea curentului anodic;
5. Diacul este format din:
   a. Trei straturi succesive semiconductoare;
   b. Patru straturi succesive semiconductoare;
   c. Cinci straturi succesive semiconductoare;
6. Diacul este:
   a. O diodă care conduce în ambele sensuri;
   b. Un tiristor care conduce in ambele sensuri;
   c. O diodă de curent alternativ;
7. Triacul este:
   a. Un diac cu trei terminale;
   b. Un tiristor bidirecțional;
   c. Un dispozitiv bidirecțional cu două terminale.

BIBLIOGRAFIE

1. Floyd, T., *Dispozitive electronice*, Editura Teora, București, 2003
2. Cosma, D., Chivu, A., *Electronică analogică. Electronică digitală - Lucrări practice*, Editura Arves, Craiova, 2005
3. Bițoiu, A., Băluță, G. ș.a., *Practica electronistului amator*, Editura Albatros, București, 1984
4. Cosma, D., Gheață, C., Mușat, C., Chivu, A., *Bazele electronicii analogice – Manual pentru clasa a X-a*, Editura CD Press, București, 2011
5. Găzdaru, C. ș.a., *Îndrumar pentru electroniști*, Editura Tehnică, București, 1986
6. Drăgulescu, N., *Agenda radioelectronistului*, Editura Tehnică, București, 1983
7. Vasilescu, G., *Electronică*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981
8. http://www.datasheets360.com/
9. http://www.tehnium-azi.ro/page/index
10. http://eprofu.ro/tehnic/materiale-invatare-electronica/
11. http://cndiptfsetic.tvet.ro/
12. http://www.academia.edu/7200832/Electronica_Analogica_1

"STUDIAZĂ MAI ÎNTÂI ȘTIINȚA ȘI CONTINUĂ APOI CU PRACTICA NĂSCUTĂ DIN ACEASTĂ ȘTIINȚĂ." Leonardo da Vinci

ISBN- **978-973-0-19868-3**