

## **Lucrarea nr. 1**

# **DIODA SEMICONDUCTOARE**

### **Cuprins**

- I. Scopul lucrării**
- II. Noțiuni teoretice**
- III. Desfășurarea lucrării**
- IV. Temă de casă**
- V. Simulări**
- VI. Anexă**

## I. Scopul lucrării

Scopul lucrării constă în ridicarea caracteristicilor și determinarea principalilor parametri ai diodelor semiconductoare; studiul comportării diodei semiconductoare în circuitele elementare.

## Cuprins

## II. Noțiuni teoretice

1. *Joncțiunea pn* reprezintă o structură fizică realizată într-un monocristal care are două regiuni vecine, una de tip *p* și alta de tip *n*. Linia de demarcație dintre cele două regiuni se numește joncțiune metalurgică. Marea majoritate a dispozitivelor semiconductoare conțin una sau mai multe joncțiuni. Cel mai simplu dispozitiv electronic, realizat cu o singură joncțiune, este *dioda semiconductoare*.

*Observație:* Nu trebuie făcută confuzia de echivalență între termenii *joncțiune pn* și *diodă semiconductoare*, pentru că dioda semiconductoare poate fi realizată și pe baza altor structuri fizice, cum ar fi contactul metal-semiconductor. În plus dioda semiconductoare reprezintă un ansamblu tehnic care cuprinde, pe lângă structura fizică care o definește, și alte structuri cum ar fi contactele ohmice, sistemele de prindere și de evacuare a căldurii (capsula), etc.

2. *Caracteristica statică teoretică* a unei diode semiconductoare reprezintă caracteristica curent-tensiune, dedusă prin analiza fenomenelor fizice dintr-o joncțiune *pn* ideală ce au loc atunci când din exterior la bornele ei, între anod și catod, este aplicată o tensiune, numită și tensiune de polarizare. Această caracteristică este aproximată de o lege de variație (numită și ecuația Shockley pentru dioda semiconductoare), dată de:

$$I_A = I_0 \left( e^{\frac{qU_A}{kT}} - 1 \right) \quad , \quad (1.1)$$

unde: -  $I_0$  reprezintă *curentul de saturație al diodei* și este dat de expresia:

$$I_0 = qn_i^2 \left( \frac{D_p}{L_p N_D} + \frac{D_n}{L_n N_A} \right) S, \quad (1.2)$$

și este dependent de parametrii fizici și tehnologici ai joncțiunii *pn* ( suprafața joncțiunii  $S$ , concentrația intrinsecă de purtători  $n_i$ , coeficienții de difuzie  $D_p, D_n$ , lungimile de difuzie  $L_p, L_n$  ale purtătorilor de sarcină, precum și concentrațiile de impurități  $N_D, N_A$ );

-  $\gamma$  este un coeficient empiric (numit și *coeficient de emisie*), cu valori cuprinse între 1 și 2, cu valori mai apropiate de 1 pentru Ge, și mai apropiate de 2 pentru Si, și care rezultă din considerarea efectului de recombinare din zona de sarcină spațială la tensiuni de polarizare directe mici (efect cu importanță la diodele cu Si la temperatura camerei).

În funcție de suprafața joncțiunii *pn*, la rândul ei, dependentă de curentul maxim pe care trebuie să-l accepte dioda în conducție directă, curentul de saturație,  $I_0$ , are, la temperatura camerei, valori de ordinul de mărime,  $1 \div 10 \mu A$ , pentru diodele cu Ge respectiv  $1 \div 100 mA$  pentru diodele din Si.

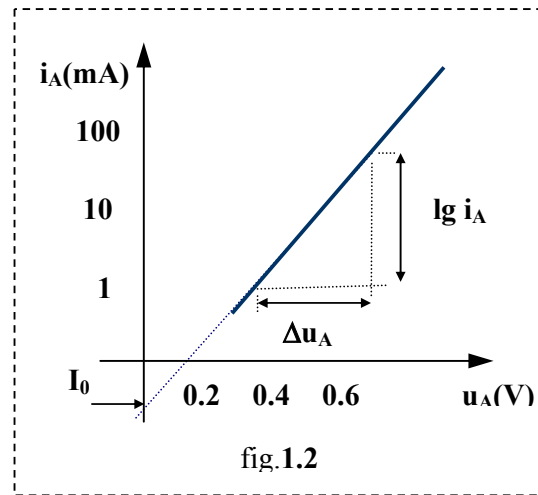
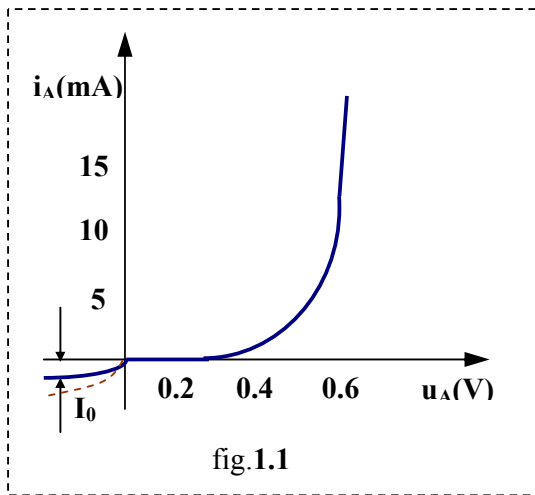
La curenți direcți de ordinul  $1 \div 10 \mu A$  (valori des întâlnite în practică) tensiunea directă pe diodă este de 0.2—0.3V pentru diodele din Ge respectiv 0.6-0.8V pentru diodele din Si.

3. Cele două mărimi,  $I_0$  și  $\gamma$ , se determină prin reprezentarea ecuației diodei semiconductoare la scară semilogaritmă (ca în fig. 1.2 unde pe abscisă se reprezintă tensiunea aplicată pentru conducție directă la scară liniară și pe verticală curentul pe dioda la scara logaritmică).

Panta dreptei astfel obținute permite deducerea coeficientului  $\gamma$ , cu relația:

$$\gamma = \frac{q}{kT} \frac{1}{2.3} \frac{\Delta u_A}{\Delta \lg i_A}. \quad (1.3)$$

Prin prelungirea aceleiași drepte, la intersecția cu axa ordonatei se obține curentul de saturație  $I_0$ .



4. Dependența de temperatura a caracteristicii statice a unei diode semiconductoare este foarte puternică, înregistrându-se o dublare a curentului de saturație la fiecare 10°C pentru diode din Ge respectiv la fiecare 6°C pentru diodele din Si. Aceasta dependență poate fi pusă în evidență și prin coeficientul de variație a tensiunii directe de pe diodă cu temperatura, la curent constant. Teoretic acest curent este de circa  $-2V/^\circ C$ , pentru ambele tipuri de material utilizate curent pentru realizarea diodelor semiconductoare.

5. La polarizare inversă, conform ecuației teoretice 1.1, curentul este constant și egal cu  $-I_0$ . Dar pentru tensiuni inverse aplicate diodei, regiunea de sarcină spațială se mărește și apare un curent de generare, dependent de tensiunea aplicată, cu valori relative importante pentru diodele din Si (în fig. 1.1 contribuția acestui curent la caracteristica diodei a fost reprezentată punctat). La tensiuni de polarizare inversă mai mari, datorită fenomenului Zener, și fenomenului de multiplicare în avalanșă (predominant de obicei), curentul invers crește, valoarea lui fiind limitată numai de circuitul exterior. Tensiunile de străpungere, la care apare aceasta creștere a curentului, sunt dependente de natura materialului semiconductor din care este realizat dispozitivul, precum și de concentrațiile de impurități, fiind cu atât mai mici cu cât concentrațiile de impurități sunt mai mari.

Fenomenul Zener apare la joncțiunile din semiconductoare puternic dopate cu impurități, în cazul alimentării cu tensiuni inverse. Chiar dacă aceste tensiuni inverse sunt mici, în regiunea de trecere ia naștere un câmp electric foarte puternic. Datorită acestui câmp,

asupra electronilor se exercită forțe foarte mari care tind să-i scoată din atracția nucleului, are loc ruperea legăturilor covalente, rezultând electroni și goluri disponibile pentru conducție.

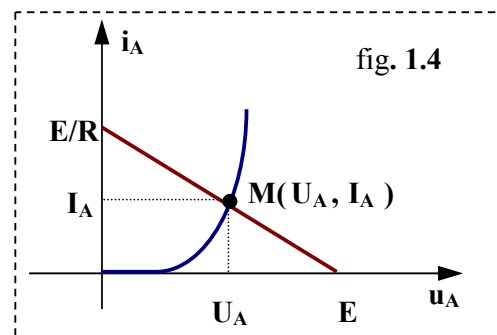
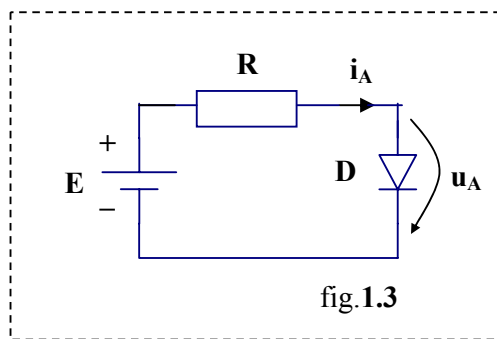
Multiplicarea prin avalanșă apare la joncțiunile din semiconductoare cu concentrație mică de impurități, deci regiune de trecere largă. Odată cu creșterea tensiunii inverse, deci a câmpului electric electronul câștigă energie astfel încât la o ciocnire cu un electron de valență acesta poate fi scos din legătură, generându-se o pereche electron-gol. Prin ciocnire electronul incident își reduce viteza, însă datorită tensiunii aplicate electronul și particulele generate vor fi din nou accelerate.

6. La tensiuni directe mari caracteristica statică tinde să se liniarizeze, datorită căderilor de tensiune pe zonele neutre ale joncțiunii *pn*, care nu mai pot fi neglijabile.

7. În circuitele electronice, diodele semiconductoare pot îndeplini mai multe funcțiuni (redresare, detecție, limitare, etc) în mai multe situații fiind necesară stabilirea unui regim static de funcționare.

Pentru circuitul elementar din fig. 1.3 punctul static de funcționare se determină prin rezolvarea grafoanalitică a sistemului de ecuații format din ecuația caracteristicii statice a diodei (1.1) și ecuația dreptei statice de funcționare:

$$u_A = E - Ri_A \quad (1.4)$$



Punctul static de funcționare M are coordonatele  $M(U_A, I_A)$ , iar în acest punct de funcționare dioda este caracterizată din punct de vedere al semnalelor lent variabile (ce pot fi aplicate în serie cu tensiunea continuă E) printr-o rezistență dinamică, pentru care se deduce relația:

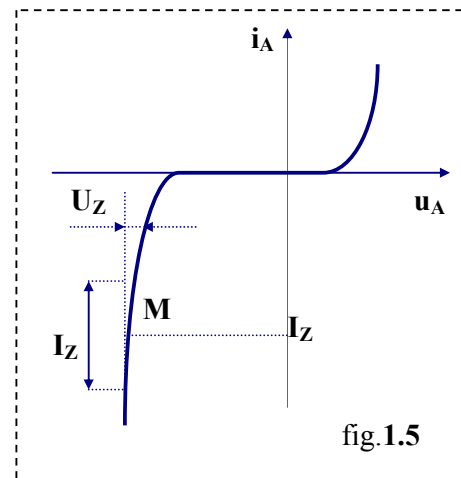
$$r_D = \gamma \frac{kT}{qI_A} \quad (1.5)$$

Rezistența dinamică  $r_D$  se determină experimental prin calculul pantei caracteristicii statice, în punctul static de funcționare M conform relației:

$$r_D = \left. \frac{\Delta u_A}{\Delta i_A} \right|_M \quad (1.6)$$

8. Diodele stabilizatoare de tensiune (impropriu dar frecvent denumite diode Zener) sunt caracterizate printr-o tensiune de străpungere bine definită (datorită efectului de multiplicare în avalanșă care determină o creștere foarte puternică a curentului invers în zona de străpungere), controlată prin concentrațiile de impurități, funcționare normală a diodei fiind în această zonă. Fig 1.5, în care este reprezentată caracteristica statică, atât cea directă cât și cea inversă, permite înțelegerea noțiunii de tensiune stabilizată,  $U_Z$ , precum și determinarea rezistenței dinamice a diodei  $r_z$ , conform relației:

$$r_z = \left. \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z} \right|_{I_Z=ct} \quad (1.7).$$

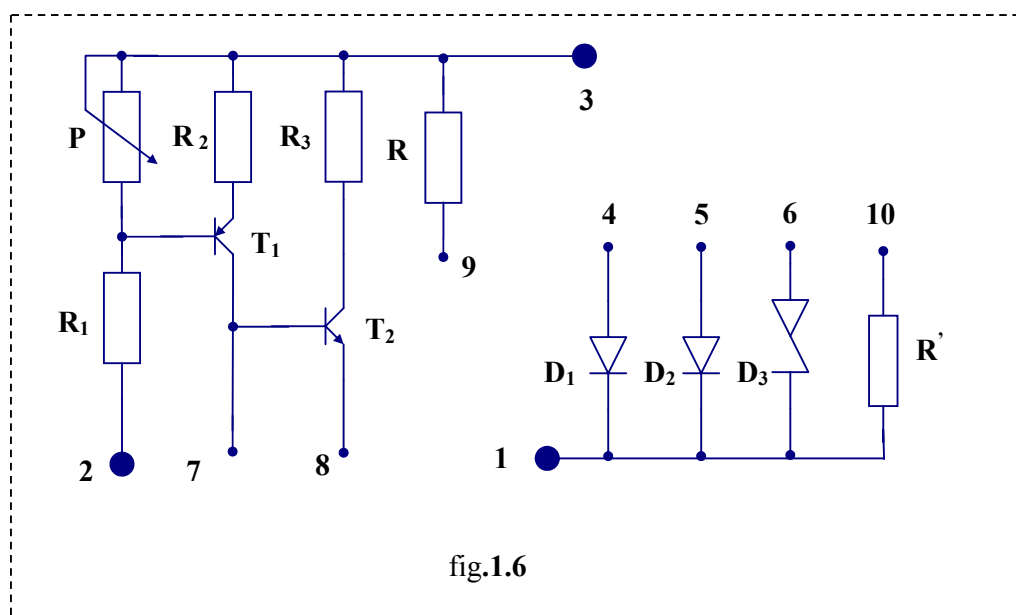


## Cuprins

### III. Desfășurarea lucrării

#### 1. Identificarea montajului

Se identifică montajul din fig 1.6. Grupul de componente format din tranzistoarele  $T_1$ ,  $T_2$ , rezistențele  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , și potențiometrul  $P$  constituie o sursă de curent reglabilă. Alimentată în curent continuu între bornele 3 (+5V) și 2 (masă), sursa furnizează la borna 7 un curent reglabil între 0÷50mA, iar la borna 8 un curent de maximum 500mA, ambele închizându-se spre borna comună de masă (borna 2).



**Aplicație simulată de laborator:**

--în fișierul deschis prin link-ul de mai jos să se realizeze schema din fig.1.6 și se alimentează montajul la bornele corespunzătoare;

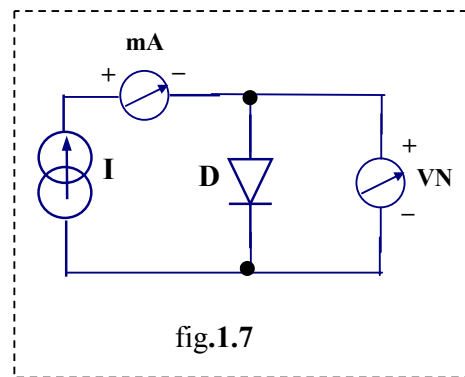
**Atenție:** La sfârșitul laboratorului se va șterge conținutul fișierului deschis prin link;

**Fișiere DS\DS-PRACTIC.EWB**

**2. Caracteristicile statice**

Se ridică caracteristicile statice la polarizarea directă pentru diodele  $D_1$  - EFR 136 (diodă redresoare din Ge) cu curenți cuprinși între 0.5÷500 mA (borna 4 reprezintă anodul),  $D_2$  - BA 243 (diodă din Si, de uz general, de putere mică) cu curenți în domeniul 0.1÷50 mA (borna 5 este anodul) și  $D_3$ - BZX 85 C7V5 (diodă stabilizatoare de tensiune) cu curenți în domeniul 0.1÷20 mA (anodul este borna 6).

Ridicarea caracteristicilor directe se face cu montajul din fig. 1.7; curentul prin diodă se măsoară cu un miliampermetru, pe o scară corespunzătoare de curenți, iar tensiunea la bornele diodei cu un voltmetru electronic (de preferință voltmetru numeric). Curentul se va regla la valori pentru care se poate face o reprezentare comodă la scară logaritmică adică multiplii și submultiplii zecimali ai numerelor 1,2 și 5 (ai căror logaritmi zecimali sunt, aproximativ, 0, 0.3 respectiv 0.7).



Pentru dioda EFR 136 se va folosi borna 8 a generatorului pentru curenți mai mari de 50 mA iar pentru celelalte cazuri se va folosi numai borna 7 a generatorului de curent.

Rezultatele măsurătorilor se vor trece într-un tabel.

**Aplicație simulată de laborator:**

--în fișierul deschis de link-ul de mai jos, având salvată aplicația de la punctul 1, se realizează montajul din fig.1.7 pentru dioda  $D_1$ . Se pornește noua aplicație și se extrag valorile corespunzătoare ale caracteristicii statice simulate. ;

--se repetă simularea și pentru celelalte două diode;

--rezultatele obținute prin simulare se trec în același tabel cu cele experimentale și se compară cu acestea;

**Fișiere DS\DS-PRACTIC.EWB**

Cu ajutorul unei aplicații grafice din WORD, COREL sau EXCEL, sau manual pe hârtie milimetrică, și folosind rezultatele experimentale și simulate din tabelul de mai sus se vor reprezenta cele trei caracteristici la scară liniară, pe un același grafic, în domeniul de curenți comun diodelor. În mod asemănător se trasează caracteristicile statice ale celor trei diode la scară semilogaritmică (ca în fig.1.2).

### 3. Dependența de temperatură

La curentul  $I_A = 5mA$  se încălzește (cu mâna sau prin apropierea unui ciocan de lipit încălzit) dioda BA 243 și se constată, calitativ, modificarea tensiunii directe pe diodă.

### 4. Determinarea parametrilor $I_0$ și $\gamma$

Pe caracteristicile statice obținute la scară semilogaritmică, pentru fiecare din cele trei diode, se determină parametrii  $I_0$  și  $\gamma$  procedând ca în fig. 1.2 și folosind formula (1.3).

### 5. Punctul static de funcționare

Se va determina punctul static de funcționare M (prin precizarea coordonatelor sale,  $U_A$  și  $I_A$ ) pentru dioda de Si prin trei metode: grafoanalitic, experimental și prin simulare.

Metoda grafoanalitică presupune ca pe graficul corespunzător caracteristicii statice experimentale, obținută la punctul 2, să trasăm și dreapta statică de funcționare dată de ecuația 1.4 (pentru  $E = 5V$  și  $R = 820\Omega$ ). Punctul M se va găsi la intersecția dintre dreapta statică de funcționare cu caracteristica statică directă.

Metoda experimentală presupune realizarea circuitului din fig. 1.3, cu  $E = 5V$  și  $R=820\Omega$ . Pentru realizarea acestui circuit este suficient ca în montajul precedent să comutam legătura de la borna 7 a generatorului de curent la borna 9 a rezistenței R. Se măsoară mărimile caracteristice punctului static de funcționare,  $U_A$  (cu voltmetru numeric montat în paralel cu dioda) și  $I_A$  (cu un miliampermetru montat în serie cu dioda) și se compară cu rezultatele obținute prin metoda grafoanalitică.

#### **Aplicație simulată de laborator:**

- se deschide link-ul de mai jos;
- se realizează circuitul virtual asemănător cu cel de la metoda experimentală ;
- se pornește aplicația și se citesc valorile corespunzătoare  $U_A$  și  $I_A$

**Fisiere DS\DS-PRACTIC.EWB**

### 6. Rezistența dinamică

Valoarea teoretică a rezistenței dinamice se obține cu ajutorul formulei 1.5 în care  $\frac{kT}{q} = 26mV$ ,  $\gamma$  are valoarea dedusă la punctul 4 iar  $I_A$  are valoarea dată de punctul static de funcționare.

Valoarea experimentală a rezistenței dinamice se obține în punctul static de funcționare stabilit la punctul anterior pe graficul de la metoda grafoanalitică. Se va determina, grafic, rezistența dinamică cu ajutorul relației 1.6.

Se vor compara cele două rezultate.

### 7. Caracteristica inversă

7A. Cu montajul din fig. 1.8 se măsoară curentul invers prin diodele EFR 136 și BA 243 la tensiunile  $E = 0V, -5V, -10V, -20V$ .

**Aplicație simulată de laborator:**

--se deschide link-ul de mai jos;  
 --se realizează montajul din fig. 1.8 și pentru valorile specificate ale tensiunii E se măsoară curentul invers prin dioda de Si aleasă;

**Fisiere DS\DS-PRACTIC.EWB**

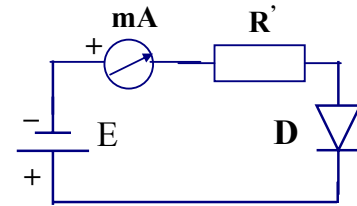


fig. 1.8

7B. Se determină caracteristica inversă a diodei stabilizatoare de tensiune cu montajul din fig. 1.9, pentru curenți între 0.1 mA și 20 mA. Pentru aceasta, generatorul de curent se alimentează cu +15V (la borna 3), bornele 7 și 1 se conectează împreună printr-un miliampermetru iar tensiunea se măsoară cu un voltmetru numeric (bornele 2 și 6 sunt și ele cuplate).

Se trasează caracteristica inversă a diodei stabilizatoare la scară liniară pe un grafic pe care se trasează, spre comparație și caracteristica directă. În punctul static de funcționare caracterizat prin  $I_Z = 10mA$ , se determină rezistența dinamică, măsurând tensiunea pe diodă la curenții:  $I_Z = 5mA$  și  $I_Z = 15mA$ .

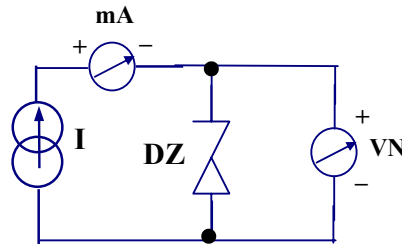


fig. 1.9

**Aplicație simulată de laborator:**

În fișierul deschis de link-ul de mai jos se realizează virtual montajul din fig. 1.9 și se determină caracteristica inversă a diodei stabilizatoare aleasă ; se compară rezultatele cu cele experimentale.

**Fisiere DS\DS-PRACTIC.EWB**

**Cuprins**

**IV. Temă de casă**

Referatul va conține: schemele de principiu pentru ridicarea caracteristicilor directe și inverse ale diodelor, tabelele cu rezultatele măsurătorilor experimentale și simulate, graficele și determinările făcute pe baza acestora, precum și compararea cu rezultatele teoretice.

**Cuprins**

**V. Simulări****Aplicația simulată pentru punctul 1.****Fisiere DS\DS-PCT1.EWB****Aplicația simulată pentru punctul 2.****Fisiere DS\DS-PCT2.EWB****Aplicația simulată pentru punctul 5.****Fisiere DS\DS-PCT5.EWB****Aplicația simulată pentru punctul 7A.****Fisiere DS\DS-PCT7A.EWB****Aplicația simulată pentru punctul 7B.****Fisiere DS\DS-PCT7B.EWB****Cuprins****VI. Anexă**

Valorile rezistențelor de pe plăcuța din laborator sunt:

 $R_1 = 20\text{K}\Omega;$      $R_2 = 200\Omega;$      $R_3 = 2,2\text{K}\Omega;$      $R = 0,82\text{K}\Omega;$      $R' = 1\text{K}\Omega;$      $P = 50\text{K}\Omega.$ **Cuprins**