

L1. DIODE SEMICONDUCTOARE

L1. DIODE SEMICONDUCTOARE

În lucrare sunt măsurate caracteristicile statice ale unor diode semiconductoare. Rezultatele fiind comparate cu relațiile analitice teoretice. Este analizată și comportarea diodelor în regim dinamic, semnal mic, joasă frecvență.

1. Considerații teoretice

Diodele studiate în această lucrare sunt dispozitive formate dintr-o joncțiune 'pn'. Simbolul electric și mărimile asociate sunt prezentate în figura 1a). Relația între tensiunea aplicată (v_D) și curentul (i_D) printr-o diodă semiconductoare este:

$$i_D = I_0 \cdot \left(e^{\frac{q v_D}{\gamma k T}} - 1 \right) \quad (1)$$

unde: I_0 este curentul de saturație al diodei, γ este un coeficient care ia valori între 1 și 2.

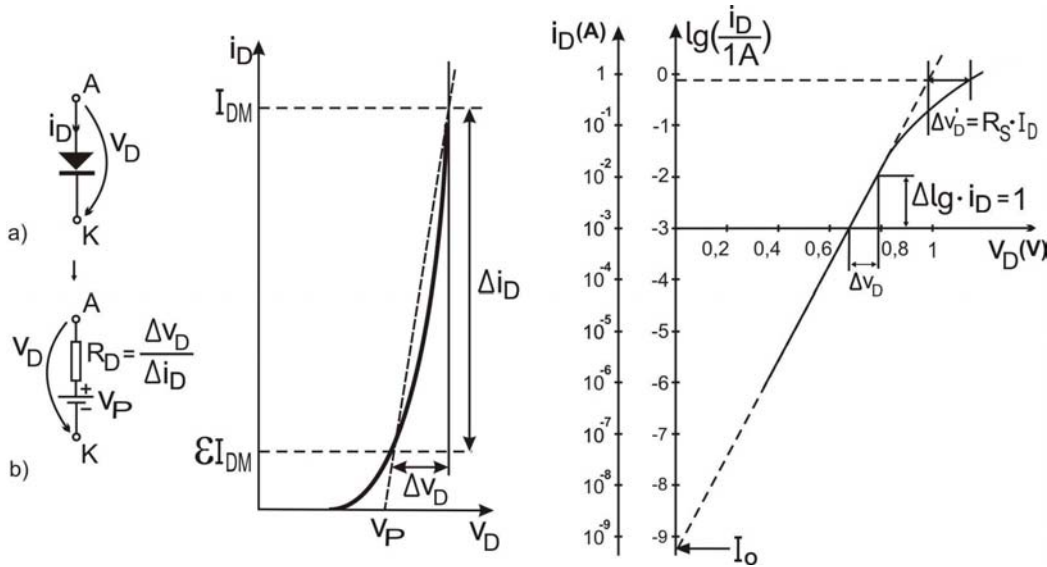


fig1

fig2

Polarizarea directă

Logaritmand relația (1) și pentru $v_D > (3...4) \frac{KT}{q}$ se obține:

$$\lg \frac{i_D}{1A} = \lg \frac{I_0}{1A} + \left(\frac{q}{\gamma k T} \cdot \lg e \right) \cdot v_D \quad (2)$$

În planul $(\lg i_D, v_D)$ relația (2) este reprezentată printr-o dreaptă (pentru curenți suficient de mici), după cum este ilustrat în figura 2. Reprezentând la scară logaritmică dependența $i_D(v_D)$ se determină I_0 prin extrapolare până la $v_D = 0$, iar prin calcularea contrapantei se obține valoarea coeficientului :

$$\gamma = \frac{\Delta v_D}{\Delta I_D} \cdot \left(\frac{q I_0}{KT} \right) = 16,7 \cdot \frac{\Delta v_D}{\Delta I_D} \quad (3)$$

La curenți mari, la bornele diodei apare o tensiune v_D mai mare decât cea rezultată din relația (1) datorită rezistenței materialului adiacent joncțiunii, R_s :

$$v_D = \frac{\gamma KT}{q} \ln \frac{i_D}{I_0} + R_s \cdot i_D \quad (4)$$

O metodă de estimare a rezistenței R_s , constă din citirea pe zona curbă a graficului din figura 2 a trei perechi de coordonate (i_{D1}, v_{D1}) , (i_{D2}, v_{D2}) , (i_{D3}, v_{D3}) alese astfel încât: $i_{D1} \cdot i_{D3} = (i_{D2})^2$ și aplicarea formulei :

$$R_s = \frac{v_{D1} - 2v_{D2} + v_{D3}}{i_{D1} - 2i_{D2} + i_{D3}} \quad (5)$$

Cu metoda de liniarizare prezentată în figura 1, pentru dioda polarizată direct care lucrează într-o gamă relativ restrânsă de curenți, relația $v_D(i_D)$ se poate aproxima prin expresia liniară :

$$v_D = v_F + R_D \cdot i_D \text{ pentru } v_D > v_F \quad (6)$$

Pentru $v_D < -(3...4) KT/q$ relația (1) devine :

$$i_D = -I_0 \quad (7)$$

Curentul invers prin diodă poate să nu depindă de tensiunea aplicată (diode cu germaniu) sau să crească odată cu tensiunea (diode cu siliciu). La o anumită valoare a tensiunii inverse aplicate (tensiune de străpungere) poate să apară efectul Zener sau efectul de Multiplicare în Avalanșă, care se manifestă printr-o creștere a curentului ce nu mai poate fi limitat decât de circuitul exterior. Faptul că în străpungere tensiunea la bornele diodelor este practic constantă, a condus la utilizarea lor ca diode stabilizatoare de tensiune (Zener). În figura 3 este prezentat simbolul și caracteristica $i_D(v_D)$ unei diode stabilizatoare de tensiune. Proprietățile de stabilizare ale unei diode Zener pot fi apreciate prin valoarea rezistenței dinamice R_z , definită ca :

$$R_z = \left. \frac{\Delta v_z}{\Delta i_z} \right|_{I_z} \quad (8)$$

Regimul dinamic, semnal mic, joasă frecvență

Dacă tensiunea pe dioda prezintă mici variații (v_D) cu o amplitudine V_d în jurul punctului static de funcționare (V_D), curentul prin dioda va prezenta variații (i_D) în jurul valorii statice (I_D) situație ilustrată în figura 4. Dacă frecvența e relativ mică și amplitudinea îndeplinește condiția de semnal mic ($V_d \ll KT/q = 26 \text{ mV}$) atunci se verifică relația de proporționalitate :

$$v_d(t) = R_I \cdot i_d(t) \quad (9)$$

Parametrul R_I se poate calcula cu relația:

$$R_I = \left. \frac{dv_D}{di_D} \right|_{I_D} = \frac{\gamma KT}{q I_D} = \frac{0,026\gamma}{I_D} \text{ dacă } \frac{qV_D}{\gamma KT} \gg 1 \quad (10)$$

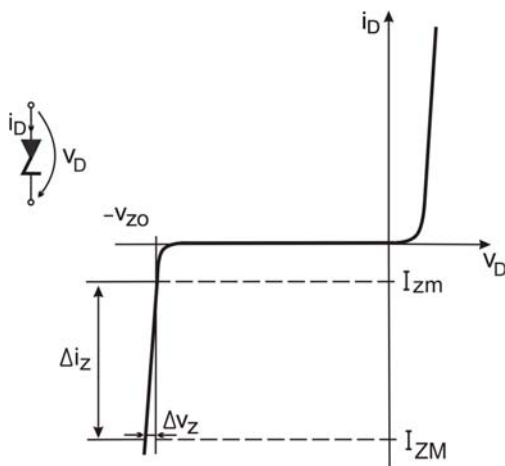


fig3

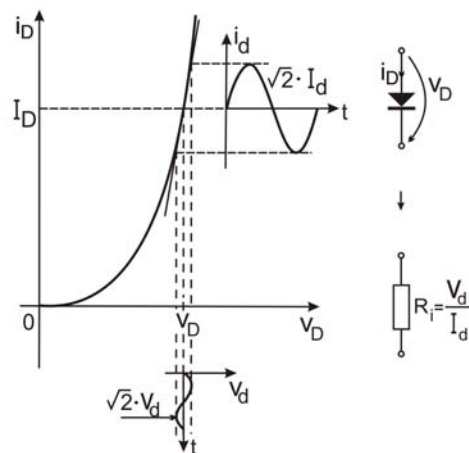


fig4

2. Mod de lucru

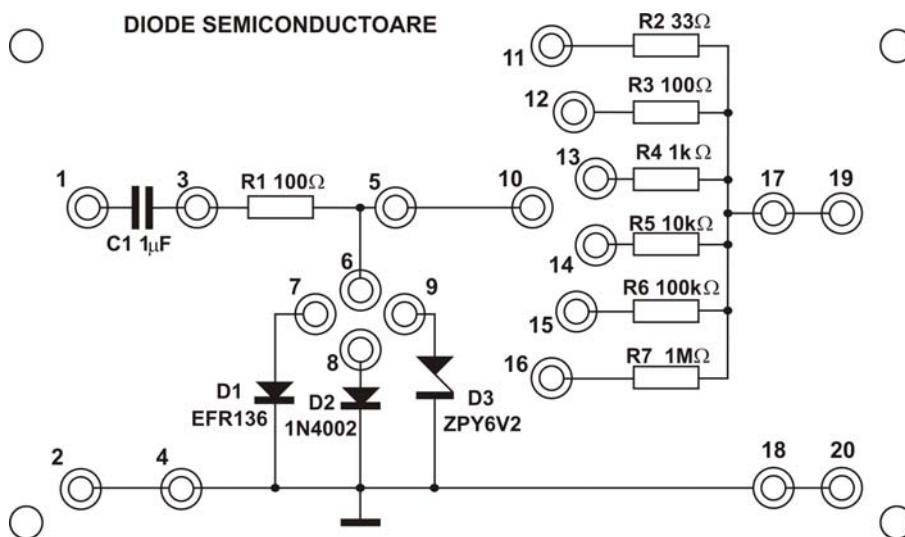
Montajul experimental este prezentat în figura 5. Montajul e echipat cu 3 diode semiconductoare:

D1-diodă cu germaniu tip EFR 136

D2-diodă cu siliciu tip 1N4002

D3-diodă stabilizatoare tip ZPY 6V2

Rezistoarele R_k ($k=2\dots7$) permit polarizarea diodei la curenți direcți între $1\ \mu\text{A}$ și $300\ \text{mA}$ și măsurarea acestora. Rezistența R_1 permite măsurarea valorii efective a curentului alternativ ce parcurge dioda.



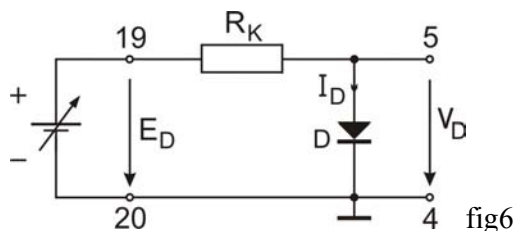
Aparate necesare:

- sursă de tensiune stabilizată ($0\dots30\ \text{V}$; $0,5\ \text{A}$)
- voltmetru electronic (E303)
- generator de semnal sinusoidal de audiofrecvență (Versatester)

3. Desfășurarea lucrării

Caracteristici statice. Polarizare directă

1. Se realizează configurația din figura 6, alegând dioda D, respectiv rezistența R_K și reglând sursa E_D conform indicațiilor din tabelul 1.



Tabelul 1

Dioda:	E_D	(V)	1	11	11	11	4	11	4	11	7	11
	R_K	(K Ω)	1000		100	10	1		0,1		0,03	
D1	V_D	(V)										
	I_D	(mA)										
D2	V_D	(V)										
	I_D	(mA)										

Se măsoară de fiecare dată V_D și se calculează curentul I_D cu relația :

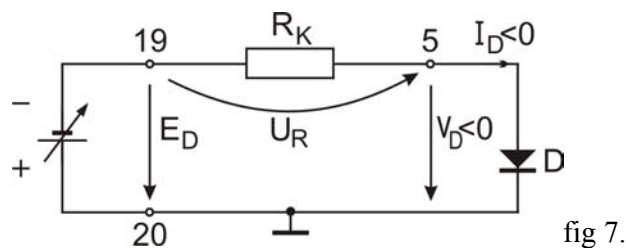
$$I_D = \frac{E_D - V_D}{R_K} \quad (11)$$

Conectarea rezistențelor de valori mici (R_2 și R_3) se va menține un timp scurt pentru a evita încălzirea dispozitivelor.

Polarizarea inversă

2. Se realizează configurația din figura 7. Rezistențele R_K sunt alese (conform tabelului 2) astfel încât căderea de tensiune pe R_K să fie mult mai mică decât V_D și să se poată aproxima,

$$V_D = E_D - U_R = E_D$$



Se reglează sursa la tensiunile indicate în tabelul 2 și se calculează curentul invers prin diodă, I_D , cu relația :

$$I_D = \frac{U_R}{R_K} \quad (12)$$

Tabelul 2

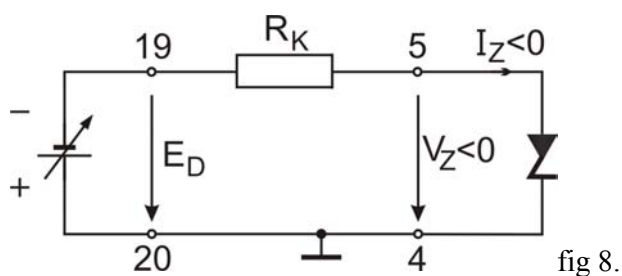
Dioda:	R _K	E _D	(V)	1	5	10	20	30
D1	1 KΩ	U _R	(mV)					
		I _D	(μA)					
D2	1 MΩ	U _R	(mV)					
		I _D	(nA)					

La măsurarea curenților inverși prin dioda cu siliciu se va folosi domeniul de 2 volți al voltmetrului E303, domeniu pentru care se obține un bun compromis între timpul de măsură și precizie.

Diode stabilizatoare de tensiune

3. Se realizează configurația din figura 8. Se alege R_K și se reglează E_D conform indicațiilor din tabelul 3. Se măsoară V_Z și se calculează I_Z cu relația:

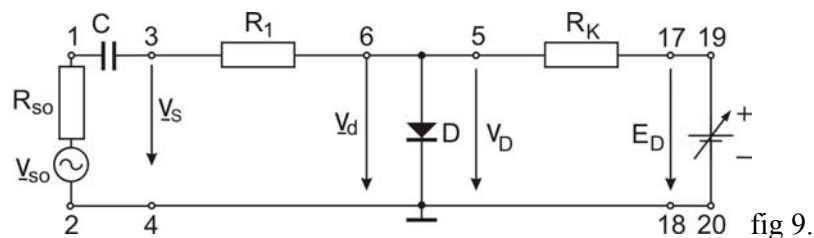
$$I_Z = \frac{E_D - V_Z}{R_K} \quad (13)$$



Tabelul 3

E _D	(V)	7	8	11	8	11	8	11
R _K	(KΩ)	10			1		0,1	
V _Z	(V)							
I _Z	(mA)							

4. Se realizează configurația din figura 9. Se alege R_K, D și se reglează E_D conform tabelului 4. Se măsoară V_D și se calculează I_D cu relația (11).



Se aplică la intrarea <1> un semnal sinusoidal cu frecvența de 10 kHz. (Se recomandă utilizarea unui generator de semnal cu impedanța de ieșire de 50 ohmi pentru a putea măsura rezistențe echivalente cât mai mici.) Pentru fiecare situație se reglează amplitudinea generatorului astfel încât să se obțină $V_d=2,5\text{mV}$. Se măsoară V_S și se calculează R_I cu relația :

$$R_I = R_1 \cdot \frac{V_d}{V_S - V_d} \quad (14)$$

Tabelul 4

Dioda:		E_D	(V)	11	4	11	4	11
		R_K	(K Ω)	10	1		0,1	
D1	V_D		(V)					
	I_D		(mA)					
	V_S		(mV)					
	R_I măsurat		(Ω)					
	R_I teoretic							
D2	V_D		(V)					
	I_D		(mA)					
	V_S		(mV)					
	R_I măsurat		(Ω)					
	R_I teoretic							

4. Prelucrarea datelor experimentale si concluzii

1. Cu ajutorul datelor din tabelul 1 se trasează pe același grafic, la scara liniară, caracteristicile $i_D(v_D)$, $v_D \geq 0$, pentru diodele D_1 și D_2 .
2. Se determină grafic V_p și R_D , alegând $I_{DM} = 200 \text{ mA}$ și $\varepsilon = 0,1$.
3. Explicați faptul că la același curent tensiunea directă pe diodele cu siliciu este mai mare decât la diodele cu germaniu.
4. Cu ajutorul datelor din tabelul 1 se trasează, pe același grafic $\lg i_D(v_D)$, $v_D > 0$ pentru diodele D_1 și D_2 ($\lg i_D$: 1 cm/decadă, v_D : 0,1 V/cm).
5. Se determină pentru fiecare diodă I_0 , gama și R_S .
6. Demonstrați obținerea relației (5).

7. Cu datele din tabelul 2 se trasează pe două grafice diferite caracteristicile $i_D(v_D)$, $v_D \leq 0$, pentru diodele D_1 și D_2 .

8. Explicați de ce curentul de saturație I_0 , determinat la punctul 5, este mai mic decât curentul invers măsurat. Explicați diferențele dintre caracteristicile inverse ale celor două diode.

Dioda stabilizatoare, de tensiune

9. Cu datele din tabelul 3 se trasează caracteristica $i_D(v_D)$, $v_D \leq 0$ pentru dioda D_3 .

10. Se determină I_{Zmin} , și R_Z .

Rezistența internă

11. Se trasează pe același grafic R_I (măsurat) și R_K (teoretic) - calculul cu relația (10), în funcție de curentul I_D (cu datele din tabelul 4).