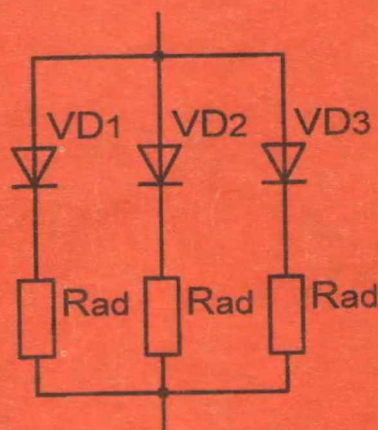


UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

DISPOZITIVE ELECTRONICE

GHID LA LUCRĂRI PRACTICE

Partea 1



Chișinău
2007

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

Facultatea Radioelectronică și Telecomunicații

**Catedra Telecomunicații
Catedra Sisteme Optoelectronice**

DISPOZITIVE ELECTRONICE

GHID LA LUCRĂRI PRACTICE

Partea 1

Chișinău
U.T.M.
2007

Prezentul ghid la lucrări practice pentru disciplina DISPOZITIVE ELECTRONICE este destinat studenților U.T.M., cu specialitățile: 2101, Telecomunicații; 2105, Sisteme optoelectronice; 1871, Inginerie și management în telecomunicații, formele de studiu de zi și cu frecvență redusă.

Elaborare: conf.univ.dr. Nicolae BEJAN

conf. univ. dr. Pavel NISTIRIUC

lect.asist.univ. Alisa MAȘNIC

Redactor responsabil: conf. univ. dr. Nicolae BEJAN

Recenzent: prof.univ.dr.hab.. Pavel BODIUL

1. DIODE SEMICONDUCTOARE

1.1. Procesele fizice în joncțiunea p-n

Elementul principal în majoritatea dispozitivelor semiconductoare îl prezintă joncțiunea p-n, adică stratul de tranziție la frontiera de separare a regiunilor cu conductibilitate electrică de tip-n și tip-p în unul și același monocristal de semiconductor.

Diferență de potențial φ_c în joncțiune, ce este condiționată de prezența gradientului concentrației purtătorilor de sarcină, este numită barieră de potențial de contact ce se calculează conform următoarei relații

$$\varphi_c = \frac{kT}{e} \ln \frac{N_{acc} \cdot N_{don}}{n_i^2} = \frac{kT}{e} \ln \frac{p_p}{p_n}, \quad (1.1)$$

unde: k este constanta lui Boltzmann; e - sarcina electronului; T - temperatura; N_{acc} , N_{don} - concentrația impurităților acceptoare și celor donoare în regiunea de tip-p și de tip-n corespunzător; n_i - concentrația proprie (intrinsecă) a purtătorilor de sarcină.

Valorile tipice ale barierei de potențial de contact sunt de ordinul zecimilor de volți.

Lărgimea stratului cu concentrație redusă a purtătorilor de sarcină în joncțiunea p-n se determină după următoarea relație

$$L = \sqrt{\frac{2\varphi_c \epsilon \epsilon_0}{e} \left(\frac{1}{N_{acc}} + \frac{1}{N_{don}} \right)}, \quad (1.2)$$

unde, ϵ este permeabilitatea dielectrică relativă a semiconductorului; ϵ_0 - permeabilitatea specifică.

Lărgimea joncțiunii p-n este de ordinul sutimilor până la unități de micrometri.

Dispozitivul electronic cu joncțiune p-n și două contacte ohmice la regiunile respective se numește diodă semiconductoare (fig.1.1). Una din regiunile joncțiunii p-n (p^+),

numită emitor, posedă concentrația purtătorilor de sarcină mai mare decât cealaltă, numită bază.

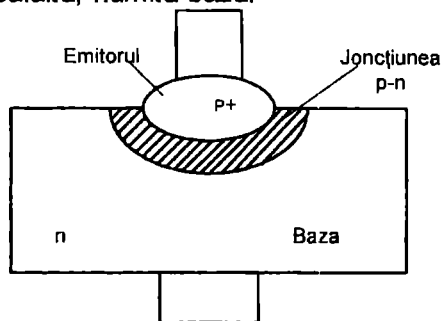


Fig. 1.1

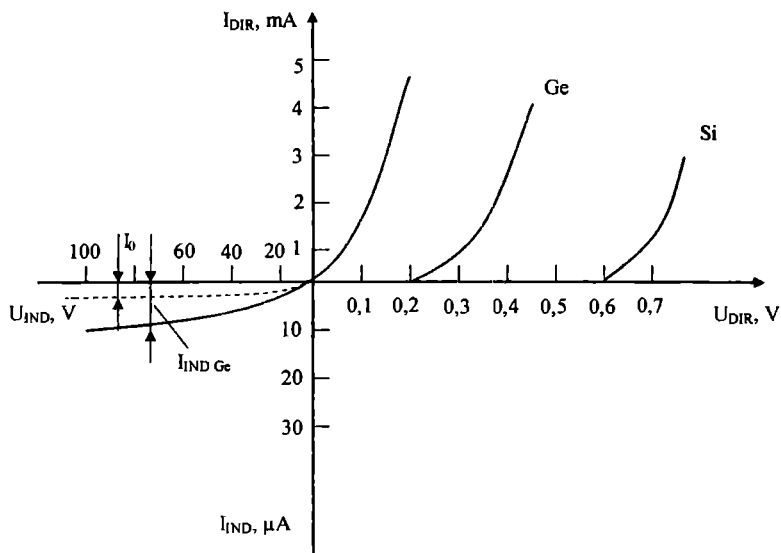


Fig. 1.2

Caracteristica curent-tensiune (CCT) statică a diodei semiconductoare este ilustrată în fig. 1.2. Cu linie întreruptă este prezentată CCT ideală a joncțiunii p-n ce se determină conform relației

$$I = I_0 \left(e^{U/(m\Phi_T)} - 1 \right), \quad (1.3)$$

unde: I_0 este curentul invers de saturație (curentul de extracție, format de purtătorii de sarcină minoritari, valoare foarte redusă); U -tensiunea aplicată la joncțiunea p-n; $\Phi_T = kT/e$ - potențialul termic (k - constanta lui Boltzmann, T - temperatura, e - sarcina electronului); m -coeficientul de corecție: $m=1$ pentru joncțiunile p-n realizate pe bază de germaniu (Ge) și $m=2$ pentru cele de siliciu (Si) la densități reduse ale curentului.

Diodele realizate pe bază de Si posedă un curent indirect de saturație mult mai redus în comparație cu cele realizate pe bază de Ge, ca rezultat a concentrației mai mici a purtătorilor de sarcină minoritari. Ramura inversă a CCT a diodelor fabricate pe bază de Si la această scară practic coincide axei absciselor. Ramura directă a caracteristicii CCT acestor diode este plasată mai la dreapta decât a diodelor realizate pe bază de Ge.

1.2. Influența temperaturii asupra caracteristicii curent-tensiune

O influență considerabilă asupra CCT a diodei o are temperatura mediului ambiant. Cu creșterea temperaturii curentul indirect de saturație se mărește circa de două ori pentru diodele realizate din Ge și de 2,5 ori pentru cele din Si la fiecare 10 °C. Pentru diodele realizate din Ge se îndeplinește următoarea relație:

$$I_0(T) = I_{01} \cdot 2^{(T-T_1)/10}, \quad (1.4)$$

unde valoarea curentului I_{01} este măsurat la temperatura T_1 .

Dacă prin dioda realizată pe bază de Ge circulă curent continuu, odată cu variația temperaturii căderea de tensiune se va modifica aproximativ cu 2,5 mV/°C:

$$\frac{dU}{dT} \approx -2,5 \text{ mV/}^\circ\text{C}. \quad (1.5)$$

Pentru diodele fabricate în tehnologie integrată (planară) raportul dU/dT constituie de la -1,55 mV/°C în regim normal până la - 2 mV/°C în regim de microcurenți.

Valoarea maxim admisibilă a curentului de saturație a diodei determină temperatura maxim admisibilă a diodei, care constituie **80 - 100 °C** pentru diodele realizate pe bază de **Ge** și **150 – 200 °C** pentru cele din **Si**. Temperatura maxim admisibilă de funcționare a diodei reale se plasează practic în limitele de **(60÷70) °C**.

Rezistență diferențială a diodei este numit raportul variației tensiunii în curent continuu către variația curentului în punctul de funcționare determinat:

$$r_{\text{dif}} = \frac{dU}{dI} \quad (1.6)$$

Din relația (1.3) rezultă, că:

$$r_{\text{dif}} \approx \varphi_T / I \quad (1.7)$$

1.3. Străpungerea diodei

Fenomenul de creștere bruscă a curentului indirect al diodei la aplicarea unei tensiuni indirecte mai majore decât valoarea critică determinată se numește străpungere a diodei. Străpungerea diodei poate apărea drept rezultat al acțiunii unui câmp electric puternic în joncțiunea p-n (fig.1.3, curba a) (străpungerea electrică poate fi de două tipuri: tunel și prin avalanșă), sau ca rezultat a supraîncălzirii joncțiunii din cauza circulației unui curent de valoare majoră și nu este asigurat regimul termic corespunzător (fig.1.3, curba b) (străpungerea termică).

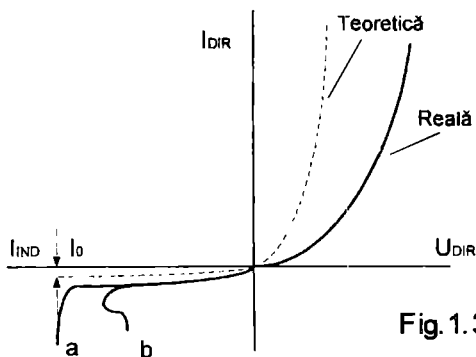


Fig.1.3

Străpungerea electrică este reversibilă, adică nu duce la distrugerea diodei, și odată cu micșorarea valorii tensiunii indirecte caracteristicile diodei se restabilesc. Străpungerea termică este ireversibilă. Funcționarea normală a diodei în calitate de element cu conductibilitate într-o singură direcție este posibilă doar în regimurile când tensiunea de polarizare indirectă nu depășește valoarea tensiunii de străpungere. Probabilitatea de străpungere electrică a diodei este indicată în pașaportul dispozitivului: valoarea admisibilă a tensiunii de polarizare indirectă $U_{IND,max}$ și gama temperaturilor de lucru. Valoarea admisibilă a tensiunii de polarizare indirectă exclude posibilitățile de străpungere electrică și constituie $(0,5 \div 0,8) U_{str}$.

1.4. Capacitatea diodei

De obicei, se vorbește de capacitatea totală a diodei C_D măsurată între contactele diodei la anumite valori de tensiune și frecvență. Capacitatea totală a diodei conține 3 componente: capacitatea de barieră C_{bar} , capacitatea de difuzie C_{dif} și capacitatea carcasi dispozitivului C_c .

1.4.1. Capacitatea de barieră

Capacitatea de barieră a diodei (de încărcare) este determinată de volumul sarcinii necompensate orientate pe ambele părți ale frontierei joncțiunii p-n.

$$C_{bar} = \frac{dQ}{dU} = S \sqrt{\frac{\epsilon \epsilon N_{don}}{2(\varphi_c + U)}}, \quad (1.8)$$

unde ϵ prezintă permeabilitatea dielectrică a materialului semiconductor; S - suprafața joncțiunii p-n.

Relația (1.8) arată că, capacitatea de barieră depinde de suprafața joncțiunii S , valoarea tensiunii aplicate U și concentrația purtătorilor de sarcină. Capacitatea nominalizată poate fi prezentată ca un condensator obișnuit, unde plachetelor le corespund frontierele sarcinii spațiale, iar sarcina spațială prezintă un dielectric imperfect cu pierderi majore.

Nominala capacității de barieră se plasează în gama zeci, sute de pF.

1.4.2. Capacitatea de difuzie

La polarizarea directă a diodei, paralel capacității de barieră se conectează capacitatea de difuzie C_{dif} , care este caracterizată de modificarea volumului purtătorilor de sarcină neechilibrați: electroni și goluri.

Calcululele ne demonstrează că, capacitatea de difuzie depinde de timpul de viață al purtătorilor de sarcină τ , și de valoarea curentului direct I_{DIR} .

$$C_{dif} \cong \frac{e}{kT} I_{DIR} \cdot \tau. \quad (1.9)$$

Nominala capacității de difuzie se plasează în gama sute, mii de pF. De aceea la polarizare directă capacitatea joncțiunii p-n este determinată de capacitatea de difuzie, iar la polarizare indirectă - de capacitatea de barieră.

Schema echivalentă a diodei semiconductoare este prezentată în fig.1.4. Aici C_d este capacitatea totală a diodei, dependentă de regimul de conectare; R_j - rezistența joncțiunii, valoarea căreia este determinată de CCT a diodei ($R_j = U/I$); r_b - rezistența bazei diodei.

Uneori la schema echivalentă se mai adaugă capacitatea bornelor C_b , capacitățile de intrare și ieșire C_{int} și C_{ies} (prezentate cu linie întreruptă) și inductanța bornelor L_b .

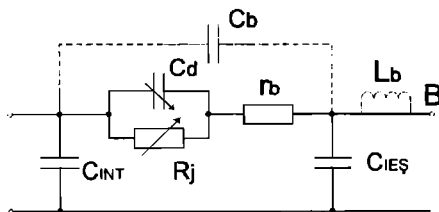


Fig.1.4

1.5. Tipuri de diode semiconductoare

1.5.1. Diode redresoare

Diodele redresoare se utilizează pentru redresarea curentului alternativ în gama frecvențelor 50 Hz+100 kHz. De regulă în îndrumare parametrii diodelor sunt indicați pentru utilizarea în circuitul redresor monofazat monoalternanță cu sarcină pur activă (fără condensatoare de netezire a pulsațiilor). La acești parametri se referă:

- *valoarea medie a tensiunii de polarizare directă* $U_{DIR.m}$ - valoarea medie a tensiunii de polarizare directă a diodei la un curent redresat maxim admisibil;

- *valoarea medie a curentului indirect* $I_{IND.m}$ - valoarea medie a curentului la polarizare indirectă, măsurat la tensiunea indirectă maximă;

- *tensiunea de polarizare indirectă maximă* $U_{IND.m\max}$ ($U_{IND.i.m\max}$)- tensiunea indirectă maximă continuă (de impuls sau în comutație) se alege astfel încât dioda să nu intre în regim de străpungere;

- *valoarea maxim admisibilă a curentului redresat* $I_{red.m\max}$ - valoarea medie a curentului prin diodă (componentă continuă) în decurs de o perioadă, la care dioda are un regim de funcționare stabil și îndelungat.

- *frecvența maximă* f_{max} - frecvența limită la care redresorul respectiv lucrează efectiv și încălzirea diodei nu depășește valoarea admisibilă.

Depășirea valorilor indicate în îndrumar pentru $U_{IND.m\max}$, $U_{IND.i.m\max}$, $I_{red.m\max}$ provoacă micșorarea bruscă a perioadei de lucru sau străpungerea diodei utilizate în circuitul respectiv.

1.5.2. Diode de frecvențe înalte și în comutație

Diodele de frecvențe înalte și în comutație se folosesc pentru detecția, modularea semnalelor radio, video, etc, unde semnalele prelucrate capătă, de regulă, frecvențe mari (sute de MHz). Diodele în comutație sunt folosite ca elemente cheie, principalii parametri fiind durata timpului de comutație de la polarizarea directă la polarizare indirectă și invers. Diodele în

comutație posedă durata impulsului sau timpul de comutație de ordinul μs și ns (10^{-6} ÷ 10^{-9} s). Parametrii de bază ce caracterizează aceste tipuri de diode sunt:

- *tensiunea maxim admisibilă la polarizare indirectă* $U_{\text{IND,max}}$ ($U_{\text{IND,i,max}}$)- tensiunea indirectă continuă (în comutație), depășirea căreia duce la micșorarea perioadei de funcționare sau chiar la distrugerea imediată a diodei.

- *tensiunea la polarizare directă* U_{DIR} - căderea de tensiune pe diodă fiind parcursă de un curent direct I_{DIR} conform STAS.

- *curentul la polarizare indirectă* I_{IND} - curentul ce curge prin diodă la aplicarea tensiunii indirecte, de regulă, se măsoară la tensiunea indirectă maximă $U_{\text{IND,max}}$, cu cât mai mic este curentul I_{IND} , cu atât mai perfectă este dioda.

- *capacitatea diodei* C_D - capacitatea la bornele diodei la o anumită tensiune aplicată. Odată cu mărirea tensiunii indirecte (după modul) capacitatea C_D se micșorează.

- *timpul de restabilire a rezistenței indirecte a joncțiunii p-n* t_{restab} - este intervalul de timp din momentul reconectării până în momentul când curentul indirect se micșorează până la valoarea de referință I_{ref} . La reconectarea diodei din stare de polarizare directă în stare de polarizare indirectă, ea nu se va închide momentan; apare impulsul curentului indirect, ce depășește valoarea lui determinată (obișnuită). Acest impuls este determinat de sarcina acumulată în bază la reconectare. Sarcina de reconectare este determinată de următoarea relație:

$$Q \approx t_{\text{restab}} \cdot I_{\text{ind,i}}$$

În circuitele, unde este nevoie de un timp redus de reconectare (de tranziție dintr-o stare în alta), se folosesc diodele Shottky. Ultimele au capacitatea de joncțiune metal-semiconductor, care, la rândul său, are proprietăți de redresare. Acumularea sarcinii în joncțiunea acestui tip de diode este neînsemnată, de aceea timpul de reconectare poate fi redus până la o valoare de **100 ps**. O altă particularitate a diodelor Shottky (în comparație cu diodele obișnuite din Si) este tensiunea de polarizare directă de valori reduse, ce constituie $\approx 0,3\text{V}$.

1.5.3. Diode Zener

Această clasă de diode semiconductoare este destinată pentru stabilizarea tensiunii pe sarcină la variația necomandată a tensiunii de alimentare sau a rezistenței de sarcină, pentru fixarea unui nivel de tensiune constantă (tensiune de referință) etc.

Diodele Zener funcționează în regim de străpungere controlată, în care atât curentul cât și puterea disipată sunt menținute de circuitul exterior la valori acceptabile, pe care dioda le suportă în regim permanent fără a se distruge (vezi fig.1.5).

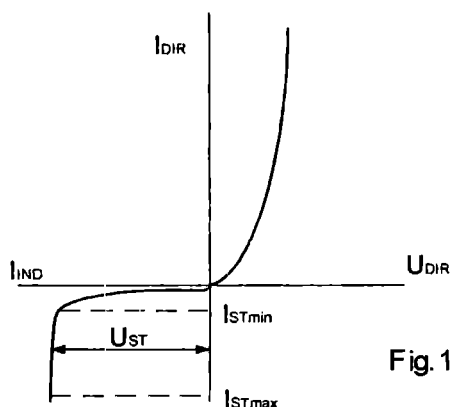


Fig.1.5

Diodele stabilizatoare de tensiune sunt caracterizate prin următorii parametri:

- *tensiunea de stabilizare U_{ST}* - tensiunea diodei Zener în regim de funcționare (la o valoare impusă a curentului de stabilizare).

- *curentul minim de stabilizare I_{STmin}* - valoarea minimă a curentului de stabilizare, la care regimul de străpungere este stabil.

- *curentul maxim de stabilizare I_{STmax}* - valoarea maximă a curentului de stabilizare, la care încălzirea diodei nu depășește limitele admise.

- rezistența diferențială în punctul de funcționare
 $R_{dif} = \Delta U_{ST} / \Delta I_{ST}$.

1.5.4. Diode Varycap

Atare diode semiconductoare se folosesc în calitate de condensator cu capacitate dirijată sub acțiunea câmpului electric aplicat la joncțiunea p-n la polarizare indirectă. Cu majorarea tensiunii indirecte capacitatea varycapului se reduce după valoare conform relației:

$$C_U = C_0 [\varphi_c / \varphi_c + U]^{1/n}, \quad (1.10)$$

unde: C_U este capacitatea diodei; C_0 - capacitatea diodei la tensiune indirectă nulă; φ_c - bariera potențialului de contact; n - coeficient, dependent de tipul diodei varycap ($n=2+3$).

Diodele varycap se utilizează în circuitele de multiplicare a frecvenței semnalului, la ajustarea contururilor oscilante în radioreceptoare.

Pentru aceste diode în îndrumările de specialitate sunt definiți următorii parametri de bază:

- *coeficientul de acoperire după capacitate* K_A - prezintă raportul capacității diodei pentru valorile limită de tensiuni indirecte;

- *coeficientul de calitate* Q - raportul rezistenței reactive, pentru o anumită valoare a frecvenței semnalului, la rezistența pierderilor pentru o capacitate sau tensiune de polarizare indirectă de valoare impusă.

- *curentul la polarizare indirectă a diodei varycap* I_{IND} .

La regimul-limită de funcționare a diodei varycap se referă:

- *tensiunea de polarizare indirectă maxim admisă* $U_{IND\ max}$;

- *puterea maxim admisibilă* P_{max} .

1.6. Probleme rezolvate

PR.1.1. Într-o joncțiune p-n fabricată din germaniu (Ge) cu concentrația impurităților $N_{\text{don}} = 10^3 N_{\text{acc}}$, la fiecare 10^8 atomi din Ge revine un atom de acceptori. Să se determine bariera de potențial la temperatura $T = 300^\circ\text{K}$ (concentrația atomilor ionizați n_i se vor socoti cu valoarea $4,4 \cdot 10^{22}$ și $2,5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ corespunzător).

Rezolvare

Determinăm concentrația atomilor acceptori: $N_{\text{acc}} = N / 10^8 = 4,4 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ (unde valoarea $N = 4,4 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ - concentrația atomilor din Ge).

Concentrația atomilor donori $N_{\text{don}} = 4,4 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$.

Bariera de potențial de contact se calculează conform următoarei relații:

$$\varphi_c = \frac{KT}{e} \ln \frac{N_{\text{acc}} N_{\text{don}}}{n_i^2} = 0,0258 \ln \frac{4,4 \cdot 10^{17} \cdot 10^{14}}{(2,5 \cdot 10^{13})^2} \cong 0,33 \text{ V}.$$

PR1.2. Rezistivitatea specifică a regiunii p a joncțiunii p-n fabricate din Ge este $\rho_n = 1 \Omega \cdot \text{cm}$. Să se determine bariera de potențial de contact (înălțimea barierei de potențial) la temperatura $T = 300^\circ\text{K}$, dacă mobilitatea electronilor și golurilor în semiconductorul realizat pe bază de germaniu este egală cu $\mu_p = 0,39$ și $\mu_p = 0,19 \text{ m}^2 / (\text{V} \cdot \text{S})$ corespunzător.

Rezolvare

Conform relației cunoscute, rezistivitatea specifică a regiunii de tip-p a semiconductorului este

$$\rho_p = \frac{1}{\tau_p} \approx \frac{1}{N_{\text{acc}} \cdot e \mu_p},$$

unde μ_p prezintă mobilitatea golurilor.

Determinăm valoarea N_{acc} .

$$N_{acc} = \frac{1}{\rho_p \cdot e\mu_p} = \frac{1}{2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 1900} = 1,65 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}.$$

Analogic determinăm concentrația impurităților donore în regiunea de tip-n a semiconductorului:

$$N_{don} = \frac{1}{1 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 3900} = 1,6 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$$

Bariera de potențial de contact este egală cu

$$\varphi_c = \frac{KT}{e} \ln \frac{N_{acc} \cdot N_{don}}{n_i^2} = 0,0258 \ln \frac{1,65 \cdot 10^{15} \cdot 1,6 \cdot 10^{15}}{(2,5 \cdot 10^{13})^2} \approx 0,22 \text{ V}.$$

PR.1.3. O joncțiune p-n fabricată din Ge are un curent la polarizare indirectă $I_0 = 1 \mu\text{A}$, iar altă joncțiune cu aceleași dimensiuni realizată pe bază de Si - un curent $I_0 = 10^{-8} \text{ A}$. Să se determine și să se compare valorile tensiunilor la polarizare directă a joncțiunilor la temperatura $T = 293^\circ \text{ K}$, dacă prin fiecare circulează un curent de **100 mA**.

Rezolvare

Curentul ce circulează prin diodă se determină conform relației

$$I = I_0 (e^{U/(KT)} - 1),$$

unde I_0 este curentul la polarizare indirectă.

Pentru dioda din Ge avem :

$$100 \cdot 10^{-3} = 10^{-6} e^{1,602 \cdot 10^{-19} U / (1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293)},$$

de unde obținem valoarea tensiunii **$U = 288 \text{ mV}$** .

Analogic, pentru dioda analizată din Si la un curent indirect $I_0 = 10^{-8} \text{ A}$, obținem **$U = 407 \text{ mV}$** .

PR.1.4. O diodă realizată pe bază de Ge are următorii parametri: $L = 10^{-3} \text{ cm}$, concentrația impurităților acceptoare $N_{acc} = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, concentrația impurităților donoare $N_{don} = 2 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, suprafața joncțiunii $S = 10^{-4} \text{ cm}^2$, lungimea regiunilor respective $l_n = 10^{-4} \text{ cm}$, $l_p = 10^{-3} \text{ cm}$, coeficienții de

difuzie a purtătorilor de sarcină minoritari
 $D_p = 8 \text{ cm}^2/\text{s}$; $D_n = 25 \text{ cm}^2/\text{s}$, concentrația proprie a purtătorilor de sarcină $n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$.

Să se determine:

a) curentul de saturație I_0 la polarizare indirectă;

b) curentul direct și căderea de tensiune pe volumul regiunii de tip-p și tip-n la aplicarea tensiunii de polarizare directă, egală cu **0,65 V**.

Rezolvare

a) Dat fiind că $N_{acc} \gg N_{don}$, atunci curentul de saturație se determină din relația:

$$I_0 = \frac{e S n_i^2 D_n}{\Delta N_{don}} = \frac{1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-4} (1,5)^2 \cdot 10^{20} \cdot 25}{10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{16}} = 4,5 \cdot 10^{-15} \text{ A}.$$

b) La aplicarea unei tensiuni de polarizare directă egală cu **0,65 V**, obținem curentul:

$$I = I_0 e^{eU/(KT)} = 4,5 \cdot 10^{-15} e^{0,651,602 \cdot 10^{-19} / (1,38 \cdot 10^{-23} 300)} = 4,10^{-4} \text{ A}.$$

Rezistența regiunii de sarcină spațială de tip-p și tip-n se determină conform relației: $R = \eta l / S$, unde η este rezistivitatea specifică; l - lungimea regiunii; S - suprafața joncțiunii p-n.

Pentru regiunea de tip-n, unde $n \gg p$, rezistivitatea specifică se determină după următoarea relație:
 $\eta_n = 1/(e\mu_n n) = 3 \cdot 10^{-1} \Omega \cdot \text{cm}.$

Respectiv, rezistența regiunii de tip-n va fi:

$$R = \frac{3 \cdot 10^{-1} \cdot 10^{-4}}{10^{-4}} = 0,3 \Omega.$$

În regiunea de tip-p, unde $p \gg n$ și

$$\eta_p = \frac{1}{e\mu_p p} = 2 \cdot 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm},$$

rezistența este

$$R = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3} / 10^{-4} = 2 \cdot 10^{-2} \Omega.$$

Deci, la un curent de $4 \cdot 10^{-4} \text{ A}$, căderea de tensiune pe rezistențele regiunilor de tip-n și tip-p este egală cu $1,3 \cdot 10^{-4} \text{ V}$.

PR1.5. O diodă realizată pe bază de Ge, ce are un curent de saturație $I_0 = 25 \mu\text{A}$, funcționează polarizată direct cu o tensiune egală cu $0,1\text{V}$, $T = 300^\circ\text{K}$. Să se determine rezistența statică R_0 și diferențială r_{dir} a acestei diode.

Rezolvare

Calculăm curentul diodei la polarizare direct după relația următoare

$$I = I_0(e^{U/(KT)} - 1) = 25 \cdot 10^{-6} (e^{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,1 / (1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300)} - 1) = 1,17 \text{ mA}.$$

Atunci rezistența în curent continuu va fi :

$$R_0 = U / I = 0,1 / (1,17 \cdot 10^{-3}) = 85 \Omega.$$

Pentru calculul rezistenței diferențiale utilizăm relația

$$\eta^{-1}_{\text{dir}} = \frac{dI}{dU} = I_0 \left(\frac{e}{KT} \right) e^{U/(KT)} = 25 \cdot 10^{-6} \cdot 38,6 \cdot 48 = 46 \cdot 10^{-3} \text{ Sm}.$$

Respectiv obținem:

$$\eta_{\text{dir}} = 1 / (46 \cdot 10^{-3}) = 21,6 \Omega.$$

Luând în considerație ca $I \gg I_0$, obținem

$$\eta_{\text{dir}}^{-1} = \frac{dI}{dU} = \left(\frac{e}{KT} \right) (I + I_0) \approx \frac{e}{KT} I$$

de unde determinăm

$$\eta_{\text{dir}} \approx \frac{KT}{eI} = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 1,17 \cdot 10^{-3}} = 22 \Omega.$$

PR1.6. Pentru o joncțiune p-n ideală să se determine următorii parametri :

a) tensiunea, la care curentul indirect va constitui 90% din valoarea curentului indirect de saturație la $T = 300^\circ\text{K}$;

b) raportul curentului la polarizare directă egală cu $0,05\text{V}$ la curentul indirect la aceeași valoare de tensiune indirectă.

Rezolvare

a) Conform relației cunoscute pentru φ_T , la temperatura $T = 300^\circ\text{K}$ avem:

$$\varphi_T = \frac{KT}{e} = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,602 \cdot 10^{-19}} = T / 11600 \approx 0,026 \text{ V},$$

Iar curentul ce circulă prin diodă este: $I = I_0(e^{U/\varphi_T} - 1)$.

Conform datelor problemei avem: $0,9I_0(e^{U/0,026} - 1)$, de unde rezultă: $U = 0,026 \cdot (-2,3) = -0,06 \text{ V}$.

b) Determinăm raportul curentului direct la cel indirect la o tensiune de respectiv **0,05** și **- 0,55 V**:

$$\frac{I_{DIR}}{I_{IND}} = \frac{I_0(e^{50/26} - 1)}{I_0(e^{-50/26} - 1)} = \frac{e^{1,92} - 1}{e^{-1,92} - 1} \approx -7.$$

PR1.7. Într-o joncțiune **p-n** ideală curentul de saturație $I_0 = 10^{-14} \text{ A}$ la $T = 300 \text{ K}$ și $I_0 = 10^{-9} \text{ A}$ la $T = 125^\circ \text{C}$. Să se determine tensiunea pe joncțiune **p-n** în ambele cazuri, dacă curentul direct este de **1 mA**.

Rezolvare

Conform caracteristicii CCT a joncțiunii $I = I_0(e^{U/(KT)} - 1)$ avem că $I/I_0 = e^{U/(KT)}$.

Logaritmând și rezolvând această ecuație în funcție de variabila U , obținem :

$$U = \frac{KT}{e} \ln(I/I_0 + 1).$$

Pentru $T = 300^\circ \text{K}$ obținem:

$$U = 0,026 \ln(10^{-3} / 10^{-14} + 1) = 0,026 \cdot 25,3 = 0,66 \text{ V}.$$

Iar pentru $T = 125^\circ \text{C}$

$$U = 0,036 \ln(10^{-3} / 10^{-9} + 1) = 0,5 \text{ V}.$$

Astfel de dependență în funcție de temperatură este caracteristică diodelor realizate pe bază de siliciu.

PR.1.8. Determinați, de câte ori se va mări curentul indirect de saturație al diodei odată cu creșterea temperaturii:

a) de la 20°C până la 80°C pentru dioda din **Ge**;

b) de la 20°C până la 150°C pentru dioda din **Si**.

Rezolvare

Dependența curentului indirect de temperatură este determinată de următoarea relație:

$$I_0 = kT^m e^{U_{g0}/(\eta\varphi_T)}$$

unde: k este constantă; $E_{g0} = eU_{g0}$ - lărgimea benzii interzise la $T = 0^\circ \text{K}$; $\varphi_T = kT/e$ - potențialul termic. Se cunoaște, pentru Ge $\eta = 1, m = 2, U_{g0} = 0,785 \text{ V}$; pentru Si $\eta = 2, m = 1,5, U_{g0} = 1,21 \text{ V}$.

Rezultă, pentru Ge curentul la polarizare indirectă este $I_0 = kT^2 e^{-0.785/\varphi_T}$.

La temperatura $T = 80^\circ \text{C}$ sau $T = 353^\circ \text{K}$, avem:

$$\varphi_T = 353/11600 = 0,0304 \text{ V}.$$

Astfel,

$$I_{0(T=80^\circ \text{C})} = K(353)^2 e^{-0.785/0,0304}$$

La temperatura $T = 20^\circ \text{C}$ sau $T = 293^\circ \text{K}$, avem:

$$\varphi_T = 293/11600 = 0,0253 \text{ V}.$$

Atunci $I_{0(T=20^\circ \text{C})} = K(293)^2 e^{-0.785/0,0253}$.

Respectiv raportul va fi egal cu :

$$\frac{I_{0(T=80^\circ \text{C})}}{I_{0(T=20^\circ \text{C})}} = \frac{K(353)^2 e^{-0.785/0,0304}}{K(293)^2 e^{-0.785/0,0253}} = 263.$$

Pentru diode din Si

$$I_0 = (KT)^{1,5} e^{-1,21/(2\varphi_T)}$$

La temperatura $T = 150^\circ \text{C}$ sau $T = 423 \text{ K}$, valoarea barierei de temperatură este dată de relația de mai jos:

$$\varphi_T = 423/11600 = 0,0364 \text{ V} ;$$

Atunci :

$$I_{0(T=150^\circ \text{C})} = K(423)^{1,5} e^{-1,21/(2 \cdot 0,0364)}$$

Deci la temperatura $T = 20^\circ \text{C}$ sau $T = 293^\circ \text{K}$, $\varphi_T = 0,025 \text{ V}$, atunci

$$I_{0(T=20^\circ \text{C})} = K(293)^{1,5} e^{-1,21/(2 \cdot 0,0253)}$$

Raportul curenților va fi:

$$\frac{I_{0(t=150^{\circ}\text{C})}}{I_{0(T=20^{\circ}\text{C})}} = \frac{(423)^{1,5} e^{-16,6}}{(293)^{1,5} e^{-23,9}} = 2568.$$

PR.1.9. La polarizarea indirectă a diodei cu tensiunea 2 V capacitatea de barieră este egală cu 200 pF. Ce tensiune de polarizare indirectă este necesară pentru a micșora valoarea capacității până la 50 pF, dacă bariera de potențial de contact $\varphi_C = 0,82$ V?

Rezolvare

Capacitatea de barieră a joncțiunii p-n se determină conform relației:

$$C_{\text{bar}} = \left[\frac{\epsilon e N_{\text{acc}} N_{\text{don}}}{2(N_{\text{acc}} + N_{\text{don}})} \right]^{1/2} U^{-1/2},$$

unde U este tensiunea aplicată la joncțiunea p-n.

Pentru dioda dată avem:

$$C_{\text{bar}} = K(U_{\text{IND}} + \varphi_C)^{1/2},$$

unde K este constantă; U_{IND} - tensiunea indirectă.

Pentru $U_{\text{IND}} = 2$ V și mărimea $C_{\text{bar}} 200$ pF, obținem

$$k = 200 \cdot 10^{-12} (2 + 0,82)^{1/2} = 3,35 \cdot 10^{-10} \text{ pF} \cdot \text{V}^{1/2}$$

Determinăm tensiunea indirectă, pentru care $C_{\text{bar}} = 50$ pF:

$$50 \cdot 10^{-12} = \frac{3,35 \cdot 10^{-10}}{(U_{\text{IND}} + 0,82)^{1/2}} \text{ de unde } U_{\text{IND}} = 44,1 \text{ V}.$$

PR.1.10. Curentul indirect al diodei cu barieră Shottky este de 2 μA . Dioda este conectată în serie cu un rezistor și o sursă de tensiune $E = 0,2$ V încât dioda să fie polarizată direct. Determinați rezistența, dacă căderea de tensiune este 0,1 V. Dioda funcționează la $T = 300^{\circ}\text{K}$.

Rezolvare

Determinăm curentul diodei: $I = I_0(e^{U/(KT)} - 1)$, unde U -

prezintă tensiunea directă. Întrucât căderea de tensiune pe rezistor este de $0,1 \text{ V}$, atunci tensiunea pe diodă este $U = E - U_R = 0,2 - 0,1 = 0,1 \text{ V}$. De aici rezultă că curentul diodei este:

$$I = 2 \cdot 10^{-6} (e^{\frac{1,6 \cdot 10^{19} \cdot 0,1}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}} - 1) = 93 \mu\text{A}.$$

Drept rezultat obținem valoarea rezistenței:

$$R = U / I = 0,1 / (9,3 \cdot 10^{-6}) \approx 1,1 \text{ K}\Omega.$$

PR.1.11. Să se determine curentul ce curge prin dioda cu CCT ideală indicată în fig.1.6,a, dacă $E = 5 \text{ V}$, $R = 1 \text{ K}\Omega$, curentul indirect $I_0 = 10^{-12} \text{ A}$ și temperatura $T = 300 \text{ K}$.

Rezolvare

Soluționăm problema prin metoda grafo-analitică. Utilizând valoarea $I_0 = 10^{-12} \text{ A}$ și cunoscând tensiunea de polarizare a diodei, trasăm dependența CCT corespunzător relației cunoscute:

$$I = I_0 (e^{eU/(KT)} - 1).$$

În fig.1.6,b este indicată CCT a diodei, pe care o trasăm și dreapta de sarcină, utilizând următoarea relație:

$$I = (E - U) / R.$$

Punctul de intersecție a dreptei de sarcină cu CCT soluționează problema. Din construcție rezultă că $I = 4,5 \text{ mA}$.

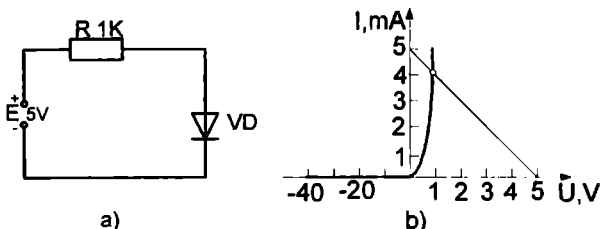


Fig.1.6

PR.1.12. O diodă ideală este conectată în circuitul prezentat în fig.1.7. Să se determine tensiunea de ieșire.

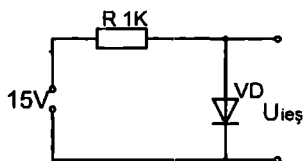


Fig. 1.7

Rezolvare

Dat fiind că dioda este polarizată indirect, putem presupune că rezistența la polarizarea indirectă a diodei constituie câteva sute de $k\Omega$ sau mai mult. Deci putem considera că, practic, toată tensiunea cade pe diodă: adică $U_{ies} = 15 \text{ V}$.

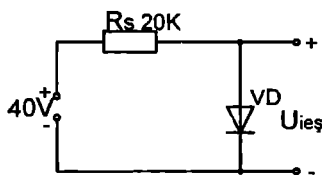


Fig. 1.8

PR. 1.13. Să se determine tensiunea de ieșire a circuitului, ilustrat în fig. 1.8, dacă la temperatura camerei este utilizată o diodă realizată pe bază de Si, ce are un curent de saturație $I_o = 10 \mu\text{A}$.

Rezolvare

Deoarece dioda este polarizată direct, atunci rezistența diodei din Si va fi mică și curentul în circuit este determinat în principiu de rezistența de sarcină $R_s = 20 \text{ k}\Omega$. Respectiv $I = 40 / (20 \cdot 10^3) = 2 \text{ mA}$. Substituim această valoare în relația pentru curentul diodei și o calculăm în raport cu U:

$$I = I_o (e^{eU/(KT)} - 1);$$

$$2 \cdot 10^{-3} = 10 \cdot 10^{-6} (e^{eU/(KT)} - 1);$$

$$e^x = 201; \quad x = eU/(KT) = 5,30; \quad kT/e \approx 26 \text{ mV}.$$

Rezultă că tensiunea de ieșire este:

$$U_{ies} = 5,30 \cdot 26 \text{ mV} = 0,138 \text{ V} \approx 0,14 \text{ V}.$$

PR.1.14. Să se determine tensiunea de ieșire în curent alternativ $U_{ieș}$ din circuitul prezentat în fig.1.9, dacă funcționează la temperatura camerei.

Rezolvare

Tensiunea de ieșire în curent alternativ este egală cu componenta alternativă a tensiunii pe diodă. Poziția punctului de funcționare se determină de componenta continuă a curentului ce circulă prin diodă $I = 20 / (10 \cdot 10^3) = 2 \text{ mA}$. Rezistența diferențială directă a diodei o calculăm după relația

$$r_{dif.dir} = kT / (eI) = 26 \cdot 10^{-3} / (2 \cdot 10^{-3}) = 13 \, \Omega.$$

De aceea tensiunea la ieșire este:

$$U_{ies} = 3 \cdot 13 / (13 + 10 \cdot 10^3) = 3,9 \text{ mV}.$$

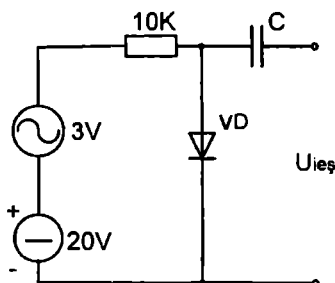


Fig.1.9

PR.1.15. Sa se determine valoarea și forma tensiunii de ieșire U_2 a circuitului prezentat în fig. 1.10,a, considerând dioda ideală. În fig.1.10,b,c sunt prezentate CCT și schema echivalentă a diodei.

Rezolvare

La alternanța pozitivă a tensiunii aplicate la diodă are loc polarizarea directă, iar pentru cea negativă – polarizarea indirectă. Considerând dioda ideală, ilustrăm schemele echivalente ale circuitului inițial pentru alternanța pozitivă (fig. 1.10, d) și negativă (fig. 1.10, e) a tensiunii aplicate.

La aplicarea tensiunii pozitive U_1 , la ieșire vom avea $U_2=U_1$; la aplicarea tensiunii negative curentul diodei, respectiv, curentul și tensiunea pe rezistor sunt nule. Dependențele tensiunii de intrare și ieșire sunt prezentate în fig. 1.10.f,g.

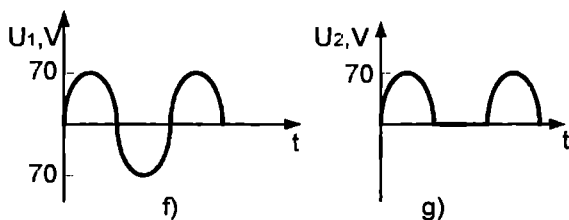
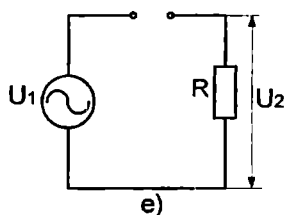
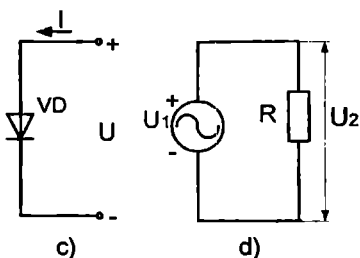
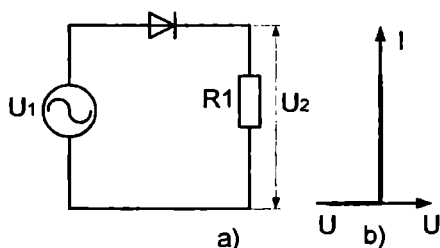


Fig. 1.10

PR.1.16. O diodă poate fi modelată în regim de semnal major (fig.1.11,a) și posedă CCT prezentată în fig.1.11,b. Să se determine valoarea curentului pentru circuitul prezentat în fig.1.11,c. Să se compare rezultatul obținut cu cel din problema **PR.1.11**. Dioda analizată este fabricată din Si.

Rezolvare:

Conform legii a 2-a a lui Kirchhoff pentru conturul din fig.1.11,c avem:

$$-5 + 100I_{VD} + 0,7 + U_{VD} = 0.$$

Din această relație rezultă că tensiunea pe diodă și pe rezistor trebuie să fie de 4,3 V. După cum este prezentat în figură, tensiunea pe diodă este nulă ($U_{VD} = 0$). Respectiv, tensiunea de 4,3 V cade doar pe rezistor. Conform legii lui Ohm, curentul prin diodă este: $I_{VD} = 4,3/10^3 \text{ A} = 4,3 \text{ mA}$.

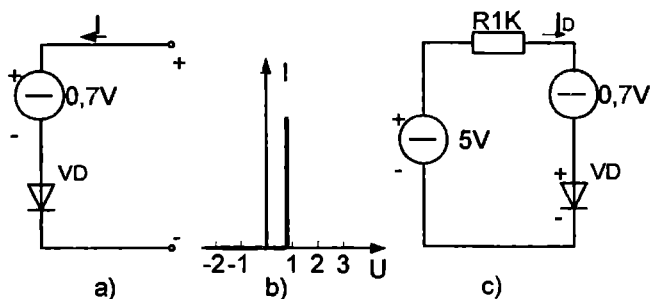


Fig.1.11

PR.1.17. Să se calculeze schema simplificată a unui redresor fără filtru de netezire pentru redresarea unui semnal sinusoidal de valoare $U = 700 \text{ V}$, utilizând diode de tipul **D226B**.

Rezolvare

Determinăm valoarea amplitudinii tensiunii sinusoidale: $U_m = \sqrt{2}U = \sqrt{2} \cdot 700 \approx 1000 \text{ V}$. Această tensiune în schema simplificată a redresorului reprezintă tensiunea de polarizare indirectă. Conform datelor de catalog, pentru diodele **D226B** $U_{IND,max}$, la temperatura maximă de funcționare constituie **300 V**

atunci pentru redresoare avem nevoie de un lanț de diode conectate în serie. Iar din cauza devierilor enorme a rezistențelor interne la polarizare indirectă a diodelor (rezistențele interne a diodelor de același tip la polarizare indirectă pot să difere de câteva ori, fiecare diodă trebuie șuntată de o rezistență R_s).

Numărul de diode n necesar se determină după următoarea relație $n = U_m / (K_s U_{IND.max})$, unde K_s este coeficientul de sarcină după tensiune (poate avea valori de la 0,5 până la 0,8). De exemplu, pentru $K = 0,7$, obținem

$$n = 1000 / (0,7 \cdot 300) = 4,76.$$

Deci fixăm $n = 5$. Valoarea rezistențelor de șunt se determină conform inegalității următoare:

$$R_s \leq \frac{n U_{IND.max} - 1,1 U_m}{(n - 1) I_{IND.max}},$$

unde coeficientul 1,1 se consideră ca devierea de 10 % a rezistenței rezistoarelor utilizate; $I_{IND.max}$ - curentul indirect la temperaturi maxim admisibile.

Din foi de catalog fixăm valoarea $I_{IND.max} = 300 \mu A$. Atunci introducând în relația precedentă, obținem:

$$R \leq \frac{5 \cdot 300 - 1,1 \cdot 1000}{(5 - 1) \cdot 300 \cdot 10^{-6}} = 333 \text{ k}\Omega.$$

Rezultă $R_s = 300 \text{ k}\Omega$. Respectiv, schema redresorului va avea forma prezentată în fig1.12.

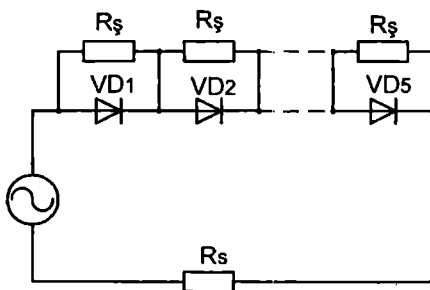


Fig. 1.12

PR.1.18. Să se alcătuiască și să se calculeze un circuit redresor, ce permite redresarea unui curent $I_{red} = 400 \text{ mA}$, dacă se utilizează diode de tip **1N4148**.

Rezolvare

Deoarece este necesar de a redresa un curent ce depășește valoarea maxim admisibilă a curentului unei diode ($I_{red,max} = 200 \text{ mA}$ pentru temperatura maxim admisă), atunci este necesar de a conecta paralel câteva diode. Luând în considerație devierile posibile a rezistențelor diodelor polarizate direct (diode de același tip pot avea devierea rezistenței la polarizare directă de ordinul zecilor de procente) pentru echilibrul curenților ce curg prin diode este necesar în serie cu fiecare diodă de conectat câte un rezistor de adaos.

Numărul necesar de diode se determină conform următoarei relații

$$n = I_m / (K_T I_{red,max}),$$

unde K_T este coeficientul de sarcină după curent, ce posedă valori de la 0,5 până la 0,8. Pentru $K_T = 0,8$ $n = 400 / (0,8 \cdot 200) = 2,5$. Deci fixăm $n = 3$.

Valoarea rezistențelor de adaos se calculează conform relației următoare

$$R_{ad} \geq \frac{U_{med}(n-1)}{nI_{red,max} - 1,1I_m}.$$

Folosind foaia de catalog, găsim

$$R_{ad} \geq \frac{1(3-1)}{3 \cdot 300 \cdot 10^{-3} - 1,1 \cdot 400 \cdot 10^{-3}} = 4,35 \Omega.$$

Deci fixăm $R_{ad} = 5 \Omega$. Circuitul obținut este prezentat mai jos în fig 1.13.

PR.1.19. În fig. 1.14 este prezentată schema simplificată de redresare a curentului unde $R_s = 10 \text{ k}\Omega$. Dioda posedă $R_{dir} = 40 \Omega$, $R_{IND} = 400 \text{ k}\Omega$, $C = 80 \text{ pF}$. Să se determine frecvența la care curentul redresat influențat de această capacitate se micșorează de două ori.

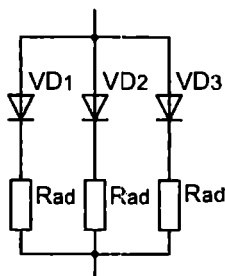


Fig. 1.13

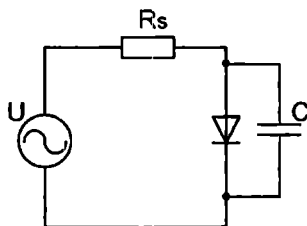


Fig. 1.14

Rezolvare

Luând în considerație că $R_s \gg R_{DIR}$ și $R_s \ll R_{IND}$, pentru frecvențe joase putem scrie următoarele relații:

$$I_{DIR, max} \approx U_{max} / (R_s + R_{DIR}) \approx U_{max} / R_s ;$$

$$I_{IND, max} = U_{max} / (R_s + R_{IND}) \approx U_{max} / R_{IND} < I_{DIR} .$$

Pentru frecvențe înalte $I_{DIR} \approx U / R_s$, $I_{IND} = U / Z_{IND}$. Cu micșorarea curentului redresat de 2 ori, vom avea $I_{IND} = 0,5 I_{DIR}$; respectiv, $Z_{IND} = 2 R_s$. Deci $Z_{IND} = \sqrt{R_s^2 + X_c^2}$ întrucât $X_c \ll R_{IND}$.

Din aceste considerente obținem :

$$X_c = \sqrt{Z^2 - R_s^2} = \sqrt{4R_s^2 - R_s^2} = \sqrt{3}R_s = 1,73R_s = 1,73 \cdot 10^4 \Omega .$$

Se cunoaște că $X_c = 1/(2\pi fC)$, adică putem scrie

$$f = \frac{1}{2\pi X_c C} = \frac{10^{12}}{6,28 \cdot 80 \cdot 1,73 \cdot 10^4} = \frac{10^6}{8,68} = 115 \cdot 10^3 \text{ Hz} = 115 \text{ kHz} .$$

PR.1.20. Pentru stabilizarea tensiunii în sarcină (fig.1.15) se folosește o diodă Zener, tensiunea de stabilizare a cărei este $U_{ST}=10\text{ V}$. Să se determine limitele admisibile de variație a tensiunii de alimentare, dacă se cunosc următorii parametri: curentul maxim de stabilizare $I_{STmax}=30\text{ mA}$, curentul minim de stabilizare $I_{STmin}=1\text{ mA}$, rezistența de sarcină $R_s=1\text{ k}\Omega$ și nominala rezistorului limitator $R_{lim}=0,5\text{ k}\Omega$.

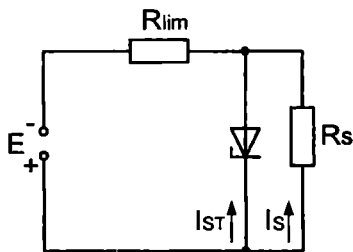


Fig.1.15

Rezolvare

Scriem relațiile de bază pentru acest circuit, conform legii a 2-a a lui Kirchhoff:

$$E = U_{ST} + R_{lim} (I_S + I_{ST}).$$

Curentul prin sarcină este :

$$I_S = U_{ST} / R_s.$$

Introducem în prima relație valoarea curentului și obținem:

$$E = U_{ST} (1 + R_{lim} / R_s) + I_{ST} R_{lim}.$$

Substituind în această relație valorile maxime și minime ale curentului ce circulă prin diodă, obținem:

$$E_{min} = 10(1 + 0,5) + 1 \cdot 0,5 = 15,5\text{ V};$$

$$E_{max} = 10(1 + 0,5) + 30 \cdot 0,5 = 30\text{ V}.$$

PR.1.21. În schema stabilizatorului de tensiune prezentată în fig.1.15, dioda Zener fabricată din Si tip **D813** este conectată paralel cu rezistența sarcinii $R_s = 2,2\text{ k}\Omega$. Parametrii diodei Zener sunt: tensiunea de stabilizare $U_{ST}=13\text{ V}$, curentul maxim $I_{STmax}=20\text{ mA}$, curentul minim $I_{STmin}=1\text{ mA}$. Să se determine valoarea rezistorului limitator R_{lim} , dacă tensiunea

sursei E variază de la $E_{\min}=16 \text{ V}$ până la $E_{\max}=24 \text{ V}$. Să se determine dacă este asigurată stabilizarea pe întreaga gamă a tensiunii de alimentare.

Rezolvare

Relația de calcul a valorii rezistorului de limitare este:

$$R_{lim} = (E_{med} - U_{ST}) / (I_{ST,med} + I_S),$$

unde

$$E_{med} = 0,5(E_{\min} + E_{\max}) = 0,5(16 + 24) = 20 \text{ V}.$$

Valoarea curentului mediu prin dioda dată este:

$$I_{ST,med} = 0,5(I_{ST,\min} + I_{ST,\max}) = 0,5(1 + 20) = 10,5 \text{ mA}.$$

Curentul prin sarcină este:

$$I_S = U_{ST} / R_S = 13 / (2,2 \cdot 10^3) = 5,9 \text{ mA}.$$

Deci

$$R_{lim} = (20 - 13) / [(10,5 + 5,9) \cdot 10^{-3}] = 7 / (16,4 \cdot 10^{-3}) \approx 430 \, \Omega.$$

Stabilizarea tensiunii va fi asigurată la variația tensiunii de alimentare în limitele de la

$$E_{\min} = U_{ST} + (I_{ST,\min} + I_S) R_{lim} = 13 + (10^{-3} + 5,9 \cdot 10^{-3}) \cdot 430 \approx 16 \text{ V}$$

până la

$$E_{\max} = U_{ST} + (I_{ST,\max} + I_S) R_{lim} = 13 + (20 \cdot 10^{-3} + 5,9 \cdot 10^{-3}) \cdot 430 = 24,1 \text{ V}.$$

Deci, stabilizarea are loc în toată gama variației tensiunilor de alimentare aplicate.

PR.1.22. La polarizarea indirectă a unei diode semiconductoare cu o tensiune egală cu 5 V , capacitatea de barieră este 25 pF . Să se determine cu cât se micșorează capacitatea de barieră la aplicarea unei tensiuni indirecte până la 7 V .

Rezolvare

Utilizând relația (1.8) și dacă nu luăm în considerație valoarea diferenței de potențial de contact putem scrie: $C_{bar1} = K / U_1^{1/2}$, unde K este o constantă; U - tensiunea aplicată la polarizare indirectă. Rezultă $K = C_{bar1} \cdot U_1^{1/2}$.

La aplicarea tensiunii indirecte cu nominala de 7 V , obținem nominala capacității de barieră

$$C_{bar2} = K/U_2^{1/2} = C_{bar1} U_1^{1/2}/U_2^{1/2} = 25\sqrt{5}/\sqrt{7} = 21 \text{ pF}.$$

Deci, capacitatea se micșorează cu:

$$\Delta C = C_{bar1} - C_{bar2} = 25 - 21 = 4 \text{ pF}.$$

1.7. Probleme propuse

PP.1.1. Să se rezolve problema 1.1 pentru o joncțiune p-n realizată pe bază de Si cu aceeași concentrație a purtătorilor de sarcină, dacă $N = 5 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$, $n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$.

PP.1.2. Să se rezolve problema 1.2, pentru o joncțiune p-n realizată din Si cu aceleași valori a rezistivității specifice a regiunilor de tip-p și tip-n.

PP.1.3. Să se calculeze și să se traseze CCT a joncțiunii p-n ideale la temperatura $T = 300^\circ \text{K}$, dacă curentul indirect de saturație $I_0 = 10 \text{ mA}$. Calculele trebuie efectuate în intervalul tensiunilor de la 0 până la -10 V (cu pasul de 1 V) și de la 0 până la 0,2V (cu $\Delta U = 0,05 \text{ V}$).

PP.1.4. Utilizând datele problemei precedente, să se calculeze și să se traseze CCT a diodei, considerând rezistența ohmică egală cu 25Ω . Caracteristica să se traseze pe dependența obținută în problema 1.26.

PP.1.5. O diodă semiconductoare posedă curentul indirect de saturație $I_0 = 10 \text{ mA}$, iar tensiunea aplicată pe dioda dată de este 0,5 V. Utilizând relația simplificată a CCT a diodei, să se determine raportul dintre valorile curentului direct la cel indirect la temperatura $T = 300 \text{ K}$.

PP.1.6. La o joncțiune p-n nesimetrică cu concentrația $N_{don} \gg N_{acc}$ este aplicată o tensiune indirectă. Să se indice cea componentă a curentului în joncțiune, care va fi mai majoră după valoare pentru aceste condiții.

PP.1.7. Ce regiune a diodei (tip-n sau tip-p) posedă o

rezistivitate specifică mai mare, dacă se cunoaște, că numărul golurilor injectate prin joncțiunea p-n într-o unitate de timp, depășește de câteva ori numărul electronilor injectați?

PP.1.8. Într-o joncțiune p-n ideală la $T=300\text{ K}$ tensiunea de polarizare directă de valoarea $0,1\text{ V}$ condiționează un anumit curent al purtătorilor de sarcină. Pentru care valoare a tensiunii directe valoarea curentului se va majora de 2 ori?

PP.1.8. Curentul indirect de saturație a joncțiunii p-n este $I_0=1\text{ }\mu\text{A}$ la $T=27\text{ }^\circ\text{C}$ și $I_0=10\text{ }\mu\text{A}$ la $T=65\text{ }^\circ\text{C}$. Să se traseze CCT a acestei joncțiuni la temperaturile 27 și $65\text{ }^\circ\text{C}$ în gama tensiunilor de funcționare $-2\div 0,5\text{ V}$.

PP.1.9. La $T=300\text{ K}$ curentul indirect de saturație a joncțiunii p-n realizată din Ge este $I_0=30\text{ }\mu\text{A}$. Să se găsească rezistența diferențială a diodei la polarizare directă și indirectă cu o tensiune egală cu $0,2\text{ V}$.

PP.1.10. Capacitatea stratului cu concentrație redusă a purtătorilor de sarcină a joncțiunii abrupte este calculată conform relației

$$C = k\sqrt{U + \phi_k},$$

unde k este o valoare constantă; U - tensiunea la polarizare indirectă iar ϕ_k - bariera potențialului de contact.

A fost demonstrat, că aplicând acestei joncțiuni o tensiune alternativă cu amplitudinea $0,5\text{ V}$, capacitatea maximă a joncțiunii va obține valoarea de 2 pF . Să se determine bariera de potențial de contact și valoarea minimă a capacității, dacă capacitatea joncțiunii la polarizare nulă este egală cu 1 pF .

PP.1.11. Să se calculeze capacitatea de barieră pentru joncțiunea p-n în bază de Ge, dacă rezistivitatea specifică a regiunii-p este $\rho_p = 3,5\text{ }\Omega\cdot\text{cm}$, bariera de potențial de contact $\phi_c = 0,35\text{ V}$, tensiunea indirectă aplicată $U_{\text{ind}} = 5\text{ V}$ și aria secțiunii transversale $S = 1\text{ mm}^2$.

PP.1.12. O diodă semiconductoră posedă curentul direct de $0,8 \text{ A}$ la polarizare directă cu o tensiune de $0,3 \text{ V}$ când temperatura mediului ambiant este de $T=35^{\circ}\text{C}$. Să se determine:

- curentul indirect de saturație;
- rezistența diferențială a diodei la polarizare directă cu tensiunea de $0,2 \text{ V}$;
- rezistența diferențială a diodei la polarizare indirectă cu tensiunea de -1 V .

PP.1.13. Să se calculeze rezistența diodei în curent continuu la polarizare directă și indirectă, dacă la polarizare directă cu tensiunea de 1 V curentul direct este de 4 mA , iar la aplicarea tensiunii indirecte de 100 V curentul indirect este egal cu $0,25 \text{ mA}$.

PP.1.14. Utilizând CCT diodei tip **Д101**, prezentate în fig.1.16, să se determine pentru valorile temperaturilor $T=20$ și 70°C :

- rezistența diferențială și rezistența în curent continuu direct 500 mA , 1 și $1,5 \text{ mA}$, de asemenea și în curent continuu indirect la tensiune 50 V ;
- puterea, disipată de diodă la trecerea curentului direct $0,5 \text{ mA}$ și indirect la tensiunea 50 V .

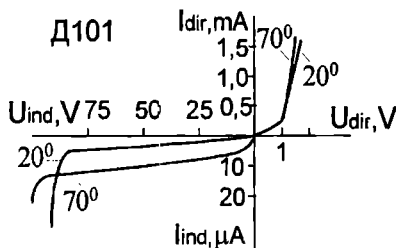


Fig. 1.16

PP.1.15. Într-un etaj detector, ce funcționează la temperaturile de la $T = 20$ până la $T = 70^{\circ}\text{C}$, se utilizează o

diodă semiconductoare tip Д305, CCT căreia este prezentată în fig. 1.17.

Să se determine:

a) rezistența diodei în curent continuu și rezistența diferențială a ei la $T = 20^{\circ}\text{C}$ la tensiune indirectă 25 V;

b) de câte ori se va schimba valoarea rezistenței în curent continuu R_0 și rezistenței diferențiale a diodei $r_{\text{dif.dir}}$ la majorarea temperaturii de la 20 la 70°C .

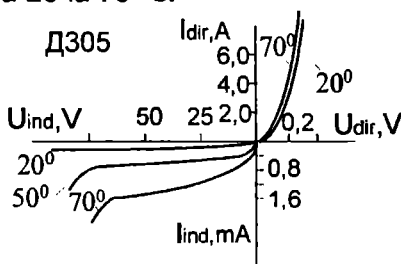


Fig.1.17

PP.1.16. O diodă semiconductoare posedă parametri: $R_{\text{DIR}} = 40 \Omega$, $R_{\text{IND}} = 0,4 \text{ M}\Omega$, $C = 80 \text{ pF}$. Să se determine la care valoare a frecvenței rezistența capacitivă devine egală cu R_{IND} , adică brusc crește curentul de scurgere.

PP.1.17. Să se determine, de câte ori se va schimba rezistența în curent continuu și rezistența diferențială a diodei semiconductoare tip Д305 (vezi CCT a diodei prezentate în fig.1.17):

a) cu schimbarea tensiunii de polarizare directă a diodei de la 0,4 până la 0,6 V la temperatura constantă a mediului înconjurător $T=20^{\circ}\text{C}$;

b) cu schimbarea temperaturii mediului înconjurător de la 20 până la 125°C la tensiunile 0,6 și -50 V .

PP.1.18. Să se determine capacitatea de difuzie C_{dif} , rezistența r_{dif} a joncțiunii p-n și rezistența de volum R_s în schema echivalentă a diodei realizate pe bază de germaniu, ce

funcționează la $T=300\text{ K}$ și tensiunea $U=0,25\text{ V}$. Raza joncțiunii p-n $r=0,06\text{ cm}$, curentul indirect de saturație $I_0=10\text{ }\mu\text{A}$, lungimea de difuzie a electronilor $L_n=0,1\text{ cm}$, coeficientul de difuzie a electronilor $D_n=93\text{ cm}^2/\text{s}$, rezistivitatea specifică a materialului diodei a regiunilor de tip-p și tip-n $\rho=0,1\Omega\cdot\text{cm}$.

PP.1.19. Să se determine parametrii de bază ai schemei echivalente a diodei fabricate din Ge (vezi fig.1.18), dacă concentrația golurilor în regiunea de tip-p $p_p=10^{15}\text{ cm}^{-3}$, iar concentrația electronilor în regiunea de tip-n $n_n=10^{16}\text{ cm}^{-3}$, curentul indirect de saturație $I_0=5\text{ }\mu\text{A}$, tensiunea de polarizare directă $U_{\text{dir}}=0,2\text{ V}$, temperatura $T=300\text{ K}$, rezistența de volum a diodei $R_s=1\Omega$. Timpul de viață al purtătorilor de sarcină $\tau_p=10\text{ }\mu\text{s}$.

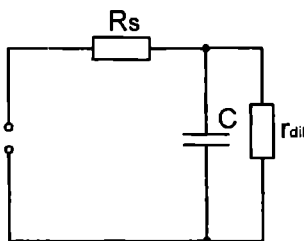


Fig.1.18

PP.1.20. În schema prezentată în fig.1.6 este conectată dioda D101. Tensiunea de alimentare $E = 2\text{ V}$, rezistența sarcinii $R_s=1\text{ k}\Omega$. Să se calculeze curentul diodei, tensiunea ce cade pe diodă și pe sarcină; să se traseze dreapta de sarcină a diodei. CCT este prezentată în fig.1.16.

PP.1.21. Folosind foaia de catalog (îndrumarul), să se determine, de câte ori se va micșora tensiunea indirectă admisibilă a diodei semiconductoare de tip D302 la variația gamei temperaturilor mediului înconjurător $20\div 70\text{ }^\circ\text{C}$.

PP.1.22. Folosind foaia de catalog, să se selecteze tipul diodei, necesare pentru redresarea unui semnal sinusoidal cu

amplitudinea $U = 400 \text{ V}$, prevăzută la nominala curentului redresat de 250 mA .

PP.1.23. Aplicăm diodei de tip Д101 tensiunea indirectă prin rezistorul R . Să se determine căderea de tensiune pe diodă și curentul ei la următoarele nominale ale rezistorului:

- a) $10 \text{ M}\Omega$,
- b) $1 \text{ M}\Omega$;
- c) $100 \text{ k}\Omega$.

Caracteristica curent-tensiune a diodei este prezentată în fig.1.16. Tensiunea sursei de alimentare $E = 50 \text{ V}$.

PP.1.24. La polarizare directă a diodei cu 1 V curentul maxim admis al diodei este de 50 mA . Care este valoarea maximală a tensiunii de alimentare, la care dioda va lucra în regim normal, dacă această diodă va fi conectată în serie cu rezistența de sarcină $R_s = 100 \Omega$?

PP.1.25. Utilizând CCT a diodei de tip Д813 , la $T=20^\circ\text{C}$ să se determine:

- a) tensiunea de stabilizare;
- b) curentul maxim admis la polarizare directă, dacă puterea disipată maxim admisibilă este 125 mW .

PP.1.26. Cum depinde coeficientul termic al tensiunii (CTT) de tipul străpungerii joncțiunii într-o diodă Zener? Pentru care tensiuni ale joncțiunii CTT este aproape nul? Prin ce metode se poate micșorât CTT al diodelor Zener?

PP.1.27. Pentru stabilizarea tensiunii într-un circuit să se selecteze conform îndrumarului o diodă Zener potrivită și să se calculeze valoarea rezistenței de limitare, dacă nominala rezistenței sarcinii este $R_s = 500 \Omega$. Tensiunea de stabilizare necesară este de $U_{ST}=10 \text{ V}$, iar tensiunea sursei de alimentare $E_{AL} = 16 \text{ V}$.

PP.1.28. Utilizând CCT a diodei Zener Д809 (vezi fig.1.19), să se determine regimul de funcționare (U_{ST}) al

diodei, conectate în serie cu rezistorul de limitare $R_{lm}=500\Omega$ la sursa de alimentare $E = 13\text{ V}$ la $T = 20^\circ\text{C}$. Să se determine R_0 , r_{dif} pentru regimul indicat mai sus și să se depisteze valoarea CTT a diodei Zener.

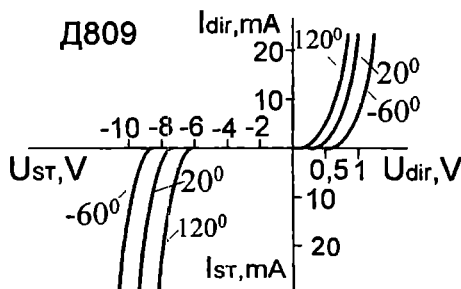


Fig.1.19

PP.1.29. Pentru condițiile problemei precedente, să se determine valorile - limită ale rezistenței de sarcină dacă tensiunea sursei de alimentare este $E = 30\text{ V}$.

PP.1.30. Să se illustreze schema echivalentă completă a diodei varicap și să se explice cum se determină parametrii acesteia. Ce valoare caracterizează nelinearitatea diodelor varicap în intervalul tensiunilor de funcționare?

PP.1.31. Folosind îndrumarul, să se determine capacitatea diodei varicap de tip Д901В la tensiunea camerei și tensiunea indirectă maxim admisibilă.

PP.1.32. Folosind îndrumarul, să se determine variația capacității diodei varicap Д901В la tensiunea nominală, condiționată de variația temperaturii mediului înconjurător în intervalul de la 20 până la 100°C .

PP.1.33. Folosind îndrumarul, să se determine factorul de calitate Q al diodei varicap de tip Д901В la temperatura mediului înconjurător egală cu 25°C .

PP.1.34. Să se determine valoarea limită a frecvenței de lucru, factorul de calitate și diapazonul de acoperire după capacitatea diodei varycap, tensiunea maximă a căreia este $U = 80 \text{ V}$, nominala capacității $C = 28 \text{ pF}$ la tensiunea aplicată de 4 V , coeficientul de acoperire $n = 4$, iar inductanța la borne cu nominala $L_s = 1 \text{ }\mu\text{H}$.

1. Sandu D. Electronica fizică și aplicată. Vol.1, – Iași, Editura A.I.Cuza: 1994, - 615 p.
2. D.Dascălu, A.Rusu, M.Profirescu, I.Costea Dispozitive și circuite electronice. - București: Editura Didactică și Pedagogică: 1982, – 679 p.
3. Zamfir V. Bazele radioelectronicii. – Timișoara, Facia: 1987, – 279 p.
4. Валенко В.С. Полупроводниковые приборы и основы схемотехники электронных устройств. – М.;Додэка: 2001, – 368 с.
5. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники. – М.; Радио и связь: 1990, – 512 с.
6. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Основы радиоэлектроники. – М.; Высшая школа: 1991. – 622 с.
7. Батушев Б.А. Электронные приборы. – М.: Высшая школа, 1980, – 383 с.
8. Пасынков В.В. Полупроводниковые приборы. – М.; Высшая школа: 1981, – 432 с.
9. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. – Москва -Санкт-Петербург; Лаборатория Базовых Знаний : 2001, - 488 с.
10. Дулин В.Н. Электронные приборы. – М.; Энергия: 1977, – 424 с.
11. Полупроводниковые приборы. Транзисторы. Справочник/ Под ред. Н.Н.Горюнова. – М.; Энергоатомиздат: 1985, – 864 с.
12. Лавриненко В.Ю. Справочник по полупроводниковым приборам. – Киев; Техника: 1984, – 419 с.
13. Морозова И.Г. Физика электронных приборов. – М.; Атомиздат: 1980, - 392 с.
14. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. В 2-х книгах. – М.; Мир: 1984, - 912 с.

CUPRINS

1. DIODE SEMICONDUCTOARE.....	3
1.1. Procesele fizice în jonctiunea p-n.....	3
1.2. Influența temperaturii asupra caracteristicii curent-tensiune.....	5
1.3. Străpungerea diodei.....	6
1.4. Capacitatea diodei.....	7
1.4.1. Capacitatea de barieră.....	7
1.4.2. Capacitatea de difuzie.....	8
1.5. Tipuri de diode semiconductoare.....	9
1.5.1. Diode redresoare.....	9
1.5.2. Diode de frecvențe înalte și în comutație.....	9
1.5.3. Diode Zener.....	11
1.5.4. Diode Varycap.....	12
1.6. Probleme rezolvate.....	13
1.7. Probleme propuse.....	30
BIBLIOGRAFIE.....	38

DISPOZITIVE ELECTRONICE

GHID LA LUCRĂRI PRACTICE

Partea 1

Elaborare: Nicolae BEJAN

Pavel NISTIRIUC

Alisa MAȘNIC

Redactor: Elvira GHEORGHIȘTEANU

Bun de tipar 25.05.07
Hârtie ofset. Tipar RISO.
Coli de tipar 2,5

Formatul hârtiei 60x84 1/16.
Tirajul 100 ex.
Comanda nr. 817

U.T.M., 2004, bd. Ștefan cel Mare și Sfânt, 168.
Secția Redactare și Editare a U.T.M.
2068, Chișinău, str. Studenților, 9/9.