

## Lucrarea Nr. 4

### Caracteristica statică $i_D=f(v_D)$ a diodei Polarizare directă - Polarizare inversă

#### A.Scopul lucrării

- familiarizarea studenților în privința comportării diodei în circuit atunci când la bornele acesteia există semnale variabile (curent  $i_D$ , tensiune  $v_D$ ) de amplitudini mari și frecvențe joase;
- înțelegerea modelelor de semnal mare (neliniare) pentru diodă;
- verificarea  $I_{inv}=ct$  într-o plajă mare de tensiuni inverse aplicate pe diodă;
- Trasarea caracteristicii  $i_D=f(v_D)$  și  $v_D < 0$  pentru o dioda Zenner și determinarea rezistenței dinamice în regim Zenner;

#### B.Scurt breviar teoretic

În Figura 1 sunt reprezentate modelul fizic al unei diode (d.e. 1N4001) precum și simbolul diodei (utilizat în CE) împreună cu mărimile electrice caracteristice.

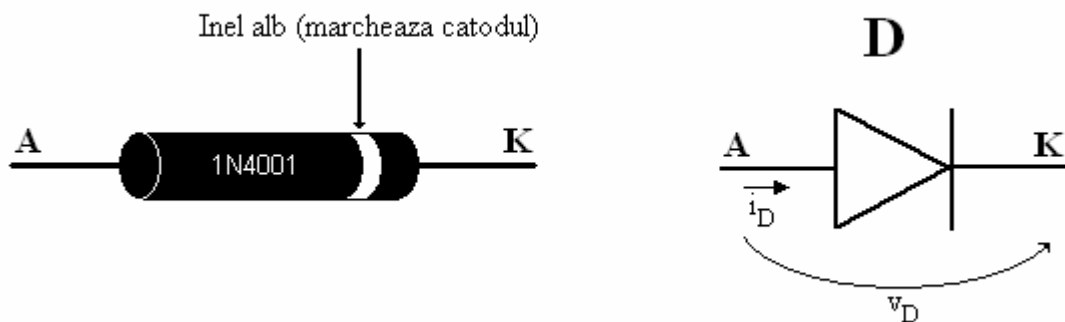


Figura 1. Modelul fizic și simbolul diodei

Se precizează că:

- $v_D = v_A - v_K$  (diferența de potențial A  $\rightarrow$  K);
- $v_D > 0$  definește polarizarea directă a diodei;
- $v_D < 0$  definește polarizarea inversă a diodei;
- curentul prin diodă  $i_D$ , cu sensul dinspre anod spre catod, este caracterizat de:
  - $i_D < 0$  și de valoare foarte mică în modul pentru polarizare inversă (dioda este blocată și practic nu permite trecerea curentului);
  - $v_D \geq 0.4V$  permite trecerea unui curent important prin dispozitiv; practic dioda se comportă ca și un contact închis la polarizare directă;

Toate observațiile de mai sus rezultă din ecuația curentului prin diodă. În fizica joncțiunii pn se demonstrează ecuația Schokley:

$$i_D = I_S (e^{\frac{v_D}{V_T}} - 1) \quad (1)$$

unde:

- $i_D$  și  $v_D$  sunt determinate de circuitul în care funcționează dioda (dacă circuitul nu este alimentat  $i_D$  este nul!);
- $I_S$  are dimensiunea unui curent și o mărime caracteristică fabricației (o diodă fabricată are  $I_S$  fixat);
- $V_T$  se numește tensiune termică (din fizica joncțiunii pn se demonstrează că  $V_T = \frac{kT}{q}$ , k fiind constanta Boltzman, T temperatura în [°K],  $q=1.6 \cdot 10^{-19}$ [C] sarcina electrică a electronului. Pentru  $T=300^\circ\text{K}$  – temperatura camerei – rezultă  $V_T \approx 25$ [mV]. De reținut că  $V_T$  depinde doar de temperatură);
- $I_S$  depinde de tipul semiconductorilor și de geometria joncțiunii pn a diodei, toate acestea fiind controlate de fabricant.  $I_S$  este foarte mic,  $\sim 10^{-18}$ [A] la diodele de foarte mică putere și până la  $\sim 10^{-5}$ [A] la diodele de foarte mare putere.

#### Dioda în regim de strapungere (generalități)

Pentru o diodă obișnuită, cu simbolul din Figura 2, s-a verificat că variații mici ale tensiunii  $v_D$ , în jurul unei valori  $V_D$  ce asigură polarizarea directă, determină variații importante ale curentului  $i_D$ . Rezultă pentru variații ale mărimilor electrice  $v_D$  și  $i_D$

$$\frac{\Delta v_D}{\Delta i_D} = r_d = \text{valoare mica},$$

deci comportare similară unui comutator electric închis (care are ideal rezistență  $0\Omega$ )

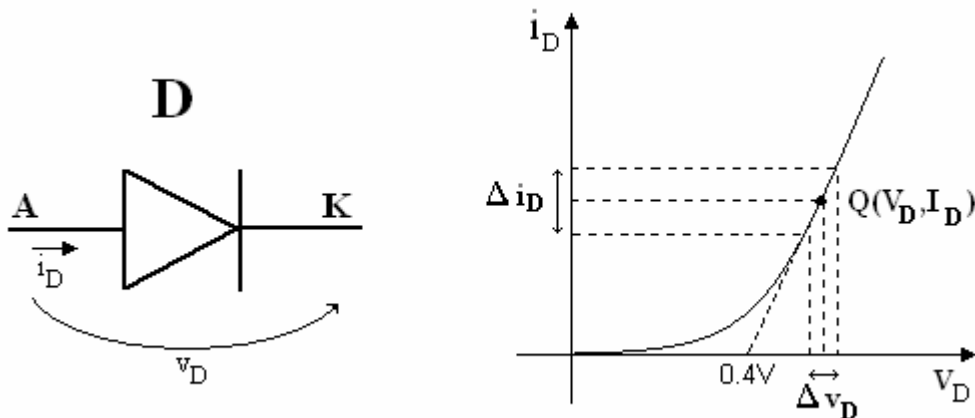


Figura 2

La inversarea tensiunii pe diodă,  $v_D < 0$ , pentru tensiuni negative  $v_D < -400$ mV, rezultă din ecuația diodei:

$$i_D = I_S (e^{\frac{v_D}{V_T}} - 1) \cong -I_S = ct$$

Valoarea lui  $I_S$  este tehnologică și foarte mică. Diodele semiconductoră obișnuite au curentul invers  $I_{inv} \approx -I_S$  la tensiuni inverse mici repartizat neuniform pe aria jonctiunii. La polarizări inverse mai slabe decât tensiunea inversă maximă, specificată în catalog de fabricant, curentul invers este nepericulos pentru că se menține la valori mici; însă când  $v_D < 0$  se apropie de tensiunea inversă maximă (d.e. -100V la 1N4001) curentul invers crește nelimitat și foarte rapid, determinând distrugerea fizică a diodei, motivul esențial fiind faptul că acest curent  $I_{inv}$  nu este repartizat uniform pe aria jonctiunii.

Prin comparație cu diodele obișnuite, diodele Zenner sunt fabricate astfel încât curentul invers să fie repartizat aproximativ uniform pe întreaga arie a jonctiunii (densitatea de curent prin jonctiune este aproximativ aceeași pe toata aria, motiv pentru care nu există zone microscopice cu supraîncălziri, deci străpungerea nu este priculoasă).

Diodele Zenner au simbolul și caracteristica  $i_D = f(v_D)$  reprezentate în Figura 3.

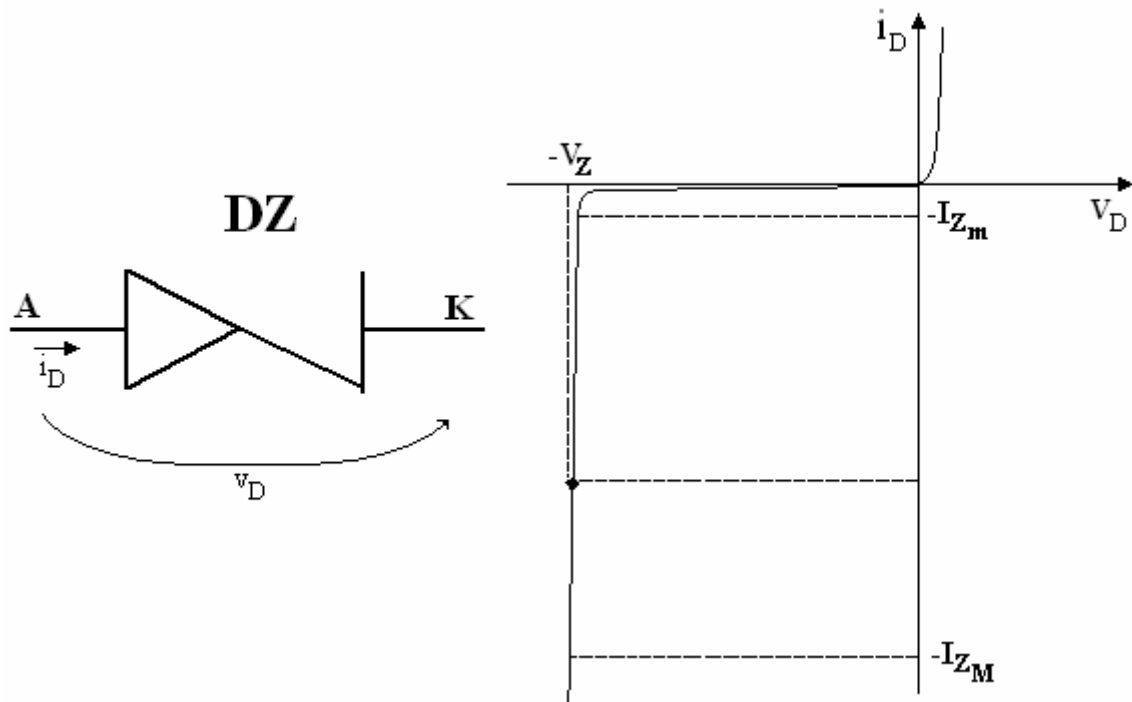


Figura 3

Diodele Zenner sunt fabricate pentru a funcționa în regim de străpungere până la o valoare a curentului invers  $I_{inv} = I_{ZM}$  (dată de catalog). Tensiunea de străpungere  $v_D < 0$ , de modul  $V_Z$ , este dată de catalog. Se fabrică DZ în plaja  $2.7V \leq V_Z \leq 500V$  iar  $5mA \leq I_{ZM} \leq 10A$ .

Cea mai importantă caracteristică a DZ este aceea că asigură, în regim de străpungere, o variație foarte mare a curentului invers cu menținerea aproximativ constantă a tensiunii  $v_D \approx -V_Z$ , sau altfel spus are o rezistență dinamică foarte mică în regim Zenner.

Această caracteristică o recomandă pentru circuite de stabilizare a tensiunii.

Pentru polarizare directă, DZ are o caracteristică statică similară cu dioda obișnuită.

### C. Caracteristica statică $i_D=f(v_D)$ la polarizare directă

Se utilizează circuitul de test din Figura 4:

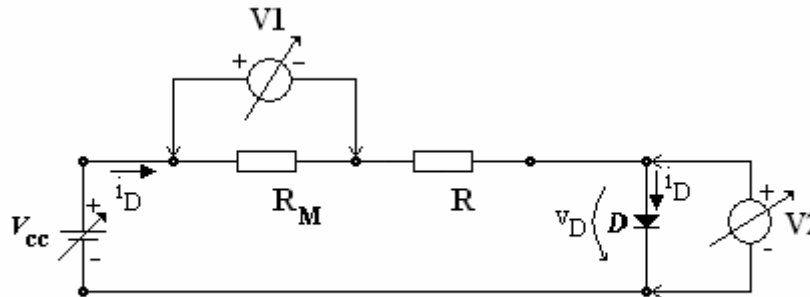


Figura 4

- $R_M$  resistor pentru măsurarea curentului  $i_D$ ,  $i_D = \frac{v_{R_M}}{R_M}$ ;  $V_{RM}$  măsurat cu voltmetrul V1. Se va utiliza  $R_M=0.5K\Omega$ , RPM, 0.5W.

-Rezistorul  $R=200\Omega$ , 3W are rolul de limitare a curentului prin dioda D în situația când multimetrul V1 este în mod defectuos setat ca și ampermetru.

-Modificarea curentului  $i_D$  se va realiza prin modificarea sursei de tensiune continuă  $V_{CC}$  ( $0 < V_{CC} < 20V$ ).

-Voltmetrul V2 este necesar pentru măsurarea tensiunii pe diodă, mărimea electrică  $v_D$ .

#### Mod de lucru

- Se fixează  $v_D$  la valorile din tabelul T1 (ajustând  $V_{CC}$  și apoi citind  $v_D$  pe V2, scala 0...1V);
- Se citesc apoi pe V1 valorile rezultate și se completează în tabelul T1.

Tabelul T1

$V2(v_D)[V]$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7
V1 [V]										
$i_D=V1/R_M[mA]$										

- După completarea tabelului T1 se trasează grafic caracteristica  $i_D=f(v_D)$  ce trebuie să rezulte în forma din Figura 5.

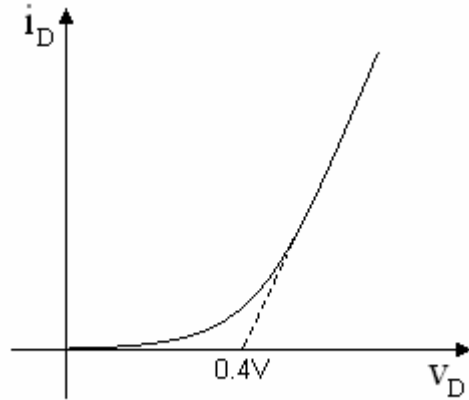


Figura 5

- Reprezentați apoi caracteristica volt-amperică a diodei la scara semi-logaritmică;

NOTA

1. Pentru dioda utilizată (1N4001) se poate determina indirect  $I_S$  de fabricație. Să presupunem că temperatura ambiantă este  $\sim 300^\circ K$ . Rezultă un  $V_T \sim 25mV$ . Folosind o pereche  $Q (V_D, I_D)$  din Tabelul 1 și ecuația (1) se

determină: 
$$I_S = \frac{I_D}{e^{V_D/V_T}}$$

2. Curentul invers al diodelor nestabilizatoare are o valoare foarte mică și nu poate fi măsurat cu metode și aparate obișnuite. Se va măsura curentul invers doar pentru diodele Zenner.

## D. Studiul diodei în regim de strapungere

### Modul de lucru

Se va utiliza dioda DZ9V1 cu următoarele date de catalog:

$$\begin{cases} V_Z = 9.1[V] - \text{imprastiere tehnologica } 8.5 \dots 9.6V; \\ r_z \leq 10\Omega \quad - \text{la } I_{Z\text{test}} = 5mA \\ P_T = 300[mW] \quad - \text{la } \theta_{\text{caps}} = 25^\circ C \end{cases}$$

Se calculează  $I_{ZM}$  (cea mai mare valoare permisă):

$$I_{ZM} \leq \frac{P_T}{(V_Z)_{\text{max}}} = \frac{300[mW]}{9.6[V]} \cong 30mA$$

Circuitul de test:

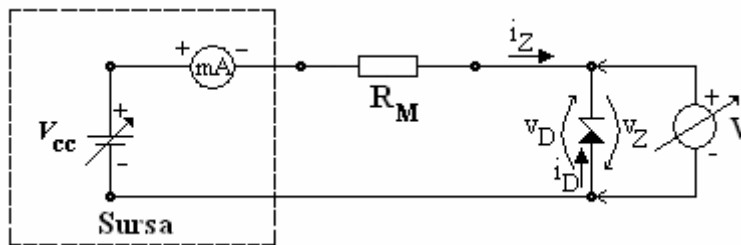


Figura 6

Se va utiliza  $R_M = 500\Omega / 1W$ .

Din  $V_{CC}$  se reglează  $i_Z = -i_D$ . Curentul reglat se citește pe aparatul mA inclus în sursa  $V_{CC}$ .

Pentru o valoare  $i_Z$  reglată se citește  $v_Z = -v_D$  pe voltmetrul V.

Se completează tabelul T2.

Tabelul T2

$i_Z = -i_D$ [mA]	1	2	3	4	5	6	7	8	12	16	20
$v_Z = -v_D$ [V]											

Se trasează graficul  $i_D = f(v_D)$  cu  $i_D = -i_Z$ ,  $v_D = -v_Z$ .

Se determină  $r_z = \left. \frac{\Delta v_Z}{\Delta i_Z} \right|_{I_Z = 5mA}$  și se compară cu valoarea de catalog.

## E. Determinarea curentului invers al diodelor obișnuite

Conform ecuației Shockley, dacă  $v_D < -400\text{mV}$ , va rezulta:

$$i_D = I_S (e^{\frac{-400\text{mV}}{a \cdot 25\text{mV}}} - 1) \cong -I_S$$

Curentul  $I_S$  este foarte mic, de ordinul [nA] la 1N4148 și de ordinul zecilor de [nA] la 1N4001. Curentul invers al unei diode este  $\sim I_S$  atât timp cât solicitarea în tensiune inversă este mult mai mică decât tensiunea de străpungere.

Un circuit pentru măsurarea lui  $I_S$  este reprezentat în figura următoare :

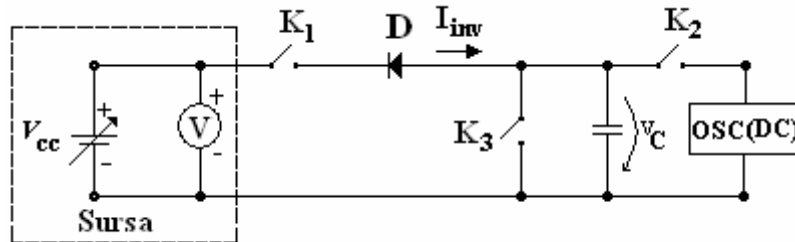


Figura 7

- $t < 0$  : toate comutatoarele sunt deschise. Se închide apoi  $K_3$  pentru descărcarea condensatorului  $C$ . Se reglează  $V_{CC} = V_{inv}$  la care dorim să măsurăm curentul invers prin diodă (d.e. 10V). Se deschide apoi  $K_3$ .
- $t = 0$  : se închide  $K_1$  și se menține închis o durată de timp  $t_1 = 100\text{s}$ . Dacă  $I_{inv} \approx I_S$ , condensatorul  $C$  se va încărca la curent constant și tensiunea  $v_C$  va evolua aproximativ liniar.  $v_C(t) = v_C(0) + \frac{I_{inv}}{C} t = \frac{I_S}{C} t$
- $t = t_1$  : se deschide  $K_1$  și imediat se măsoară  $v_C$  cu osciloscopul prevăzut cu sondă divizoare ( $R_{in\_osc} = 10\text{M}\Omega$ ). Valoarea observată este  $v_C(t_1)$ .

Se determină indirect :

$$I_{inv} (-10V \leq v_D \leq -9V) \cong \frac{C * v_C(t_1)}{t_1}$$

NOTA

1. Cu  $C = 5 \dots 10\mu\text{F}$  (nepolarizat) descărcarea condensatorului prin  $R_{in\_osc}$  este ne semnificativă dacă citirea valorii pe osciloscop nu durează mult. Constanta de descărcare prin  $R_{in\_osc}$  este :  $\tau_{RC} = 10 * 10^6 * 5 * 10^{-6} = 50\text{s}$  și dacă citirea valorii  $v_C(t_1)$  durează  $1 \dots 2\text{s}$ , eroarea realizată nu este semnificativă.
2. Durata  $t_1$  se alege astfel încât  $v_C(t_1) \leq \frac{V_{CC}}{10} = 1V$  pentru a putea aproxima că pe durata  $t \in (0 \dots t_1)$  dioda  $D$  a avut la borne o tensiune inversă aproximativ constantă.

Rezultatele experimentale vor fi trecute într-un formular de tipul urmator:

**Lucrarea Nr. 4 – Rezultate**

**C.**

Tabelul T1

V2(v <sub>D</sub> )[V]	0.1	0.2	0.3	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7
V1 [V]										
i <sub>D</sub> =V1/R <sub>M</sub> [mA]										

Caracteristica i<sub>D</sub>=f(v<sub>D</sub>): ...

$$I_S = \frac{I_D}{e^{V_D/V_T}} = ?$$

**D.**

Tabelul T2

i <sub>Z</sub> =-i <sub>D</sub> [mA]	1	2	3	4	5	6	7	8	12	16	20
v <sub>Z</sub> =-v <sub>D</sub> [V]											

Caracteristica i<sub>D</sub>=f(v<sub>D</sub>): ...

$$r_z = \frac{\Delta v_Z}{\Delta i_Z} \Big|_{I_Z=5mA} = ?$$

**E.**

$$v_C(t_1) = ?$$

$$I_{inv} = ?$$