Dioda

I. Noţiuni introductive

Dioda semiconductoare este cel mai simplu dispozitiv semiconductor. În prezent, pentru construcţia diodei semiconductoare se utilizează materiale semiconductoare din Siliciu. Diodele semiconductoare sunt întrebuinţate în special în următoarele tipuri de circuite electronice:

- redresoare de tensiune
- circuite de detecţie a valorii maxime a unei tensiuni
- circuite de limitare a valorii tensiunii
- circuite de exponenţiere sau de logaritmare.

Dioda semiconductoare este un dispozitiv cu două terminale, fabricată de către producători sub diverse forme, una din cele mai uzuale fiind prezentată în Figura 1.

Figura 1. Dioda semiconductoare.

Cele două terminale ale diodei au "roluri" diferite, fiind referite sub denumiri diferite şi anume **anod**, respectiv **catod**. Pentru a utiliza corect dioda în circuit, catodul diodei este, în general, indicat pe capsula acesteia prin intermediul unui inel, desenat ca în Figura 1. În circuitele electronice, dioda semiconductoare este simbolizată ca în Figura 2.

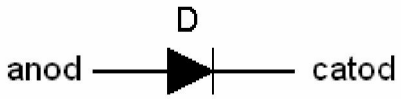

Figura 2. Simbolul electronic al diodei semiconductoare.

La terminalele diodei apar 2 mărimi electrice: curentul prin diodă, notat uzual $\mathbf{i_A}$, care prin convenţie are sensul de la anod spre catod, respectiv tensiunea pe diodă, notată uzual $\mathbf{v_A}$, care, prin convenţie, are referinţa de la anod spre catod. Mărimile electrice de terminal ale diodei, reprezentate în mărimi totale, sunt prezentate în Figura 3.

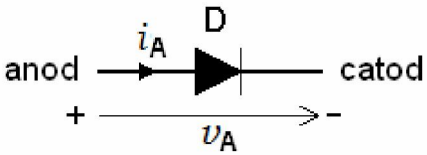

Figura 3. Mărimile electrice ale diodei semiconductoare.

II. Funcţionarea diodei

Funcţionarea diodei este descrisă pe baza relaţiei care există între mărimile electrice de terminal curent-tensiune, notate $\mathbf{i_A}$, respectiv $\mathbf{v_A}$. Din punct de vedere analitic, funcţionarea diodei semiconductoare este descrisă prin intermediul **ecuaţiei de funcţionare,** care furnizează o relaţie matematică între curentul prin diodă $\mathbf{i_A}$ şi tensiunea de la terminalele sale $\mathbf{v_A}$, ambele mărimi fiind exprimate în mărimi totale:

$$i_A = I_S\left[\exp\left(\frac{v_A}{V_T}\right)-1\right] \qquad 1$$

ecuaţia de funcţionare a diodei

unde $\mathbf{I_S}$ reprezintă **curentul de saturaţie** al diodei, care este aproximativ egal cu curentul care trece prin diodă în conducţie inversă ($10^{-16}\div10^{-14}$**[A]**), $\mathbf{V_T}$ reprezintă **tensiunea termică**, care depinde direct proporţional de temperatura de lucru (are valoarea de 25[mV] pentru T=25[^{0}C]), iar $\mathbf{v_A}$ şi $\mathbf{i_A}$ sunt tensiunea, respectiv curentul total (curentul continuu plus curentul variabil) prin diodă.

Observaţii:

- Funcţionarea diodei depinde de temperatura la care aceasta lucrează, (datorită dependenţei curentului $\mathbf{i_A}$ de tensiunea termică $\mathbf{V_T}$). La creşterea temperaturii de lucru, curentul prin diodă creşte (în special curentul invers prin diodă), iar tensiunea de prag scade (cu aproximativ 2[mV/^{0}C]).
- Dioda semiconductoare este un element neliniar de circuit; rezultă că circuitul care conţine o diodă semiconductoare este un **circuit neliniar**.

Relaţia dintre mărimile de terminal ale diodei este descrisă grafic prin intermediul **caracteristicii de funcţionare a diodei**, care furnizează informaţii despre modul în care curentul prin diodă $\mathbf{i_A}$ variază în funcţie de tensiunea aplicată $\mathbf{v_A}$ între terminalele sale. Dacă pentru curent şi tensiune se consideră sensurile de referinţă din Figura 3, atunci caracteristica de funcţionare a diodei este reprezentată ca în Figura 4.

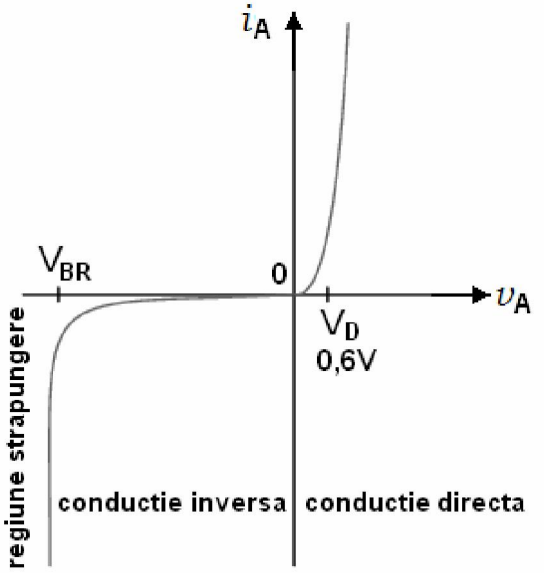

Figura 4. Caracteristica de funcţionare a diodei semiconductoare.

Regiunile de funcţionare ale diodei

În cazul în care, respectând sensul de referinţă al tensiunii pe diodă adoptat în Figura 3, tensiunea continuă pe diodă este pozitivă (potenţialul electric aplicat pe anod este mai mare decât potenţialul electric de pe catod), se spune că aceasta funcţionează în regiunea de **conducţie directă**. În cazul în care tensiunea continuă pe diodă este negativă (potenţialul electric aplicat pe anod este mai mic decât potenţialul electric de pe catod), se spune că aceasta funcţionează în regiunea de **conducţie inversă**.

Din caracteristica de funcţionare a diodei, se remarcă o serie de aspecte care vor fi comentate în continuare.

În regiunea de conducţie directă, se observă prezenţa unei **tensiuni de prag** (notată $\mathbf{V_D}$ în figură). Dacă valoarea tensiunii pe diodă este sub valoarea tensiunii de prag, atunci prin diodă valoarea curentului electric este neglijabilă (curentul electric are o valoarea foarte mică şi din acest motiv curentul respectiv poate fi aproximat ca fiind zero amperi). Dacă valoarea tensiunii pe diodă creşte spre valoarea tensiunii de prag, atunci valoarea curentului electric prin diodă începe să crească, iar după atingerea valoarii tensiunii de prag, curentul prin diodă manifestă o creştere semnificativă, de formă exponenţială, în funcţie de tensiunea pe diodă; totodată, se remarcă faptul că tensiunea la terminalele diodei rămâne la o valoare apropiată de valoarea de prag $\mathbf{V_D}$.

Pentru diodele semiconductoare realizate din siliciu, valoarea tensiunii de prag este cuprinsă între **0,5[V]÷0,7[V]**. Uzual, în analiza circuitelor, se consideră pentru tensiunea de prag valoarea $\mathbf{V_D=0,6[V]}$.

Curentul prin diodă nu trebuie să depăşească o anumită valoare maximă, notată în cataloagele de diode $\mathbf{I_F}$, valoare impusă de puterea maximă pe care o poate disipa dioda semiconductoare fără a se distruge termic. Limitarea curentului prin diodă la o valoare mai mică decât valoarea $\mathbf{I_F}$ este realizată de către circuitul în care este utilizată dioda, de obicei, prin intermediul unui rezistor, numit rezistor de limitare.

În regiunea de conducţie inversă, se remarcă o tensiune specifică a diodei, denumită **tensiune de străpungere**, (notată $\mathbf{V_{BR}}$ în figură) a cărui valoare este de ordinul zecilor-sutelor de volţi pentru diodele semiconductoare uzuale. Dacă valoarea în modul a tensiunii pe diodă este mai mică decât valoarea $\mathbf{V_{BR}}$, curentul electric nu trece prin diodă (este foarte mic, cel mult de ordinul nanoamperilor şi în consecinţă poate fi aproximat ca fiind zero amperi). Dacă valoarea tensiunii pe diodă atinge valoarea $\mathbf{V_{BR}}$, atunci prin diodă curentul electric creşte necontrolat, iar acest fenomen se numeşte **fenomen de străpungere** al diodei. În acest caz, se spune că dioda funcţionează în regiunea de străpungere. Deoarece străpungerea diodei semiconductoare duce la distrugerea acesteia, este necesar ca circuitul în care este utilizată dioda semiconductoare să limiteze tensiunea negativă pe aceasta la o valoare mai mică în modul decât valoarea $\mathbf{V_{BR}}$.

III. Polarizarea diodelor

Aşa cum s-a prezentat anterior, o diodă poate funcţiona în 2 regiuni diferite şi anume regiunea de conducţie directă, respectiv regiunea de conducţie inversă. **Regiunea de funcţionare a diodei este stabilită prin polarizarea acesteia**.

Polarizarea diodei este realizată prin intermediul unui circuit special, numit **circuit de polarizare**. Circuitul de polarizare conţine întotdeauna o sursă de alimentare (o sursă de tensiune continuă sau o sursă de curent continuu), care se mai numeşte şi sursă de polarizare şi un rezistor de polarizare, care are rolul de a limita curentul prin diodă astfel încât aceasta să nu se distrugă prin depăşirea valorii maxim admise pentru curentul prin ea, valoare furnizată în cataloagele de diode.

Dacă circuitul de polarizare asigură un potenţial electric superior pe anod faţă de cel aplicat pe catodul diodei (o tensiune pozitivă pe diodă), atunci dioda respectivă funcţionează în regiunea de conducţie directă şi se spune că aceasta este polarizată direct.

Analog, dacă circuitul de polarizare asigură un potenţial electric inferior pe anod faţă de cel aplicat pe catodul diodei (o tensiune negativă pe diodă), aceasta funcţionează în regiunea de conducţie inversă şi se spune că dioda respectivă este polarizată invers.

Circuitul de polarizare al diodei este prezentat în Figura 5, în care sursa $\mathbf{V_{CC}}$ este reprezintă sursa de polarizare, iar **R** reprezintă rezistorul de polarizare. Deoarece potenţialul electric al anodului diodei este la o valoarea superioară celui aplicat pe catod (borna + a sursei de polarizare $\mathbf{V_{CC}}$ se aplică pe anod, borna – a sursei de polarizare $\mathbf{V_{CC}}$ se aplică pe catod), dioda **D** funcţionează în regiunea de conducţie directă. În consecinţă, prin dioda **D** apare un curent continuu nenul, $\mathbf{I_A}$ iar pe diodă va cădea o tensiune $\mathbf{V_A}$ a cărei valoare este în domeniul de valori al tensiunii de prag $\mathbf{V_D}$.

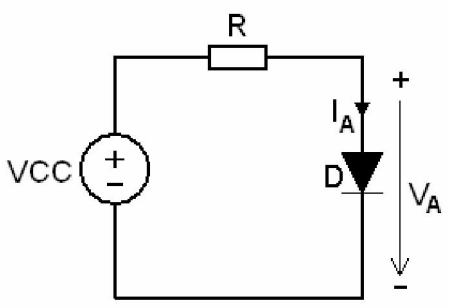

Figura 5. Circuitul de polarizare al diodei semiconductoare.

Perechea de mărimi electrice de terminal ($\mathbf{I_A}$-$\mathbf{V_A}$), stabilită de circutul de polarizare al diodei respective, se numeşte **Punct Static de Funcţionare**, prescurtat **PSF**, al didoei. Punctul Static de Funcţionare al diodei caracterizează complet funcţionarea acesteia în regim de curent continuu. Cu alte cuvinte, valoarea Punctului Static de Funţionare al diodei indică regiunea de funcţionare a acesteia în regim de curent continuu.

Determinarea Punctului Static de Funcţionare

Determinarea PSFului diodei constă în determinarea valorilor curentului continuu prin diodă $\mathbf{I_A}$, respectiv a tensiunii continue pe diodă, notată $\mathbf{V_A}$. Determinarea PSFului se face pe circuitul de polarizare al acesteia prezentat în Figura 5.

Mărimile electrice ale PSFului diodei **D** se determină pe baza a două ecuaţii care conţin necunoscutele respective. Prima ecuaţie este dată de ecuaţia de funcţionare a diodei semiconductoare, particularizată pentru mărimi electrice continue:

$$I_A = I_S\left[\exp\left(\frac{V_A}{V_T}\right)-1\right]$$

A doua relaţie este o relaţie de circuit, obţinută prin aplicarea teoremei lui Kirkhoff 2 pe bucla de circuit compusă din elementele circuitului respectiv.

$$-V_{CC} + R \cdot I_A + V_A = 0$$

S-a obţinut astfel un sistem neliniar de ecuaţii, care se poate rezolva doar prin metode numerice, soluţie care complică analiza circuitului electronic.

O alternativă la determinarea analitică a valorilor mărimilor electrice de terminal ale diodei în Punctul Static de Funcţionare este reprezentată de metoda grafică de determinare a acestuia, prezentată în Figura 6, pe baza căreia, valorile respective reprezintă coordonatele punctului de intersecţie ale graficelor relaţiilor de mai sus în planul $\mathbf{I_A}$-$\mathbf{V_A}$ pe axele graficului. Prin intersectarea celor 2 grafice, se determină Punctul Static de Funţionare al diodei, de coordonate $\mathbf{I_{A0}}$ şi $\mathbf{V_{A0}}$.

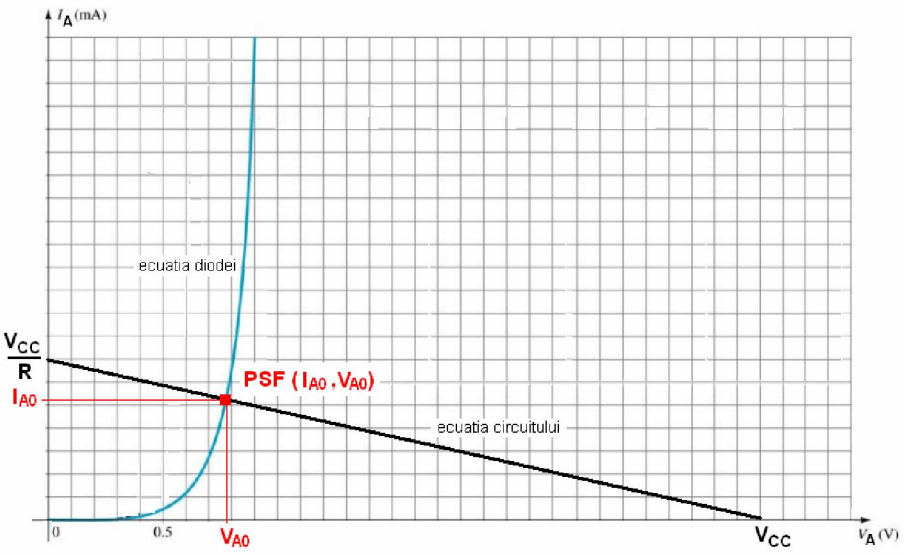

Figura 6. Determinarea grafică a Punctului Static de Funcţionare al diodei.

Pentru rezolvarea analitică a sistemului de ecuaţii care permite determinarea valorii Punctului Static de Funcţionare, este necesar ca pentru dioda semiconductoare să se dezvolte un circuit echivalent liniar, care modelează comportamentul acesteia în diverse regimuri de funcţionare. În acest mod se poate obţine un sistem de ecuaţii liniar, uşor de rezolvat.

IV. Dioda Zener

Dioda Zener este furnizată de către producători sub diverse capsule, iar în Figura 7 este prezentată una din variantele întâlnite. Terminalele sale poartă aceeaşi denumire ca şi în cazul diodei semiconductoare, respectiv se numesc **anod** şi **catod**, acesta din urmă fiind indicat pe capsula diodei Zener prin intermediul unui inel desenat.

Figura 7. Dioda Zener.

Dioda Zener este o diodă de construcţie specială, care nu se distruge în cazul în care se străpunge. Mai mult, această diodă este utilizată chiar în regiunea de străpungere. În circuitele electronice, dioda Zener este simbolizată ca în Figura 8.

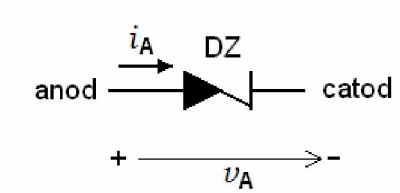

Figura 8. Simbolul electronic al diodei Zener.

Caracteristica de funcţionare a diodei Zener este prezentată în Figura 9. După cum se observă din aceasta, în regiunea de străpungere, dioda Zener menţine tensiunea de la terminalele sale la o valoare constantă, în condiţiile în care prin aceasta curentul poate avea oricare valori cuprinse într-un domeniu de valori extins, bine stabilit.

Din Figura 9 se remarcă faptul că, dacă valoarea curentului prin diodă este în intervalul [$\mathbf{I_{ZMIN}}$, $\mathbf{I_{ZMAX}}$], tensiunea între catod şi anod este aproximativ egală cu tensiunea de străpungere, care, pentru această diodă, este notată $\mathbf{V_Z}$.

Un astfel de comportament poate fi util pentru construirea unui circuit electronic special, numit **referinţă de tensiune**, care furnizează între două borne o tensiune de valoare constantă, indiferent de variaţia curentului electric la bornele respective, a tensiunii de alimetare sau ale parametrilor condiţiilor de lucru. Referinţa de tensiune este utilizată în **stabilizatoarele de tensiune**, circuite electronice pe baza cărora se construiesc sursele de tensiune continuă.

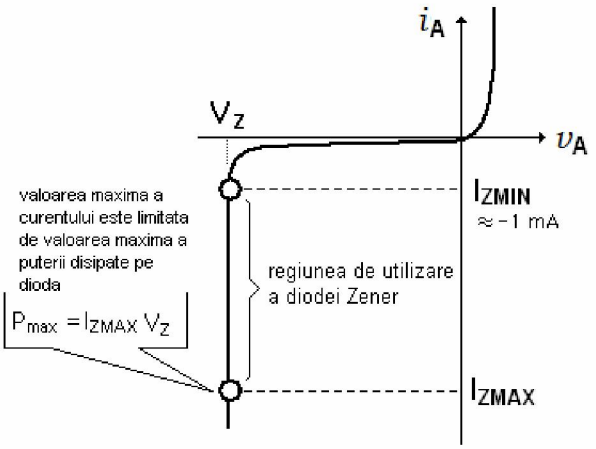

Figura 9. Caracteristica de funcţionare a diodei Zener.

Cu excepţia comportamentului nedistructiv în regiunea de străpungere, în rest, dioda Zener se comportă ca o diodă semiconductoare obişnuită.

Caracteristica de funcţionare a diodei Zener se modifică la variaţia temperaturii de lucru. Parametrul care caracterizează funcţionarea diodei Zener în condiţiile în care temperatura variază, este coeficientul termic al diodei Zener, notat $\mathbf{CTV_Z}$. Este de dorit ca acest parametru să fie de valoare cât mai mică. În acest caz, funcţionarea unei astfel de diode devine aproximativ independentă de variaţia temperaturii la care aceasta lucrează.

V. Dioda electroluminiscentă – LED-ul

La fel ca şi dioda semiconductoare, LED-ul permite trecerea curentului prin el doar în cazul în care lucrează în regiunea de conducţie directă, iar trecerea curentului electric prin LED este semnalizată prin iluminarea acestuia.

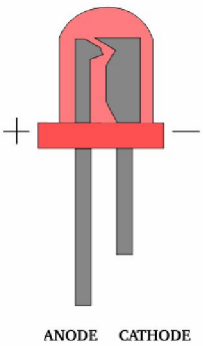

Figura 10. LED-ul – sau dioda electroluminiscentă.

LED-ul este furnizat de către producători sub diverse forme, una dintre aceste variante fiind prezentată în Figura 10. Terminale sale se numesc **anod**, respectiv **catod**, acesta din urmă fiind indicat prin intermediul terminalului mai scurt al LED-ului.

În circuitele electronice, LED-ul este simbolizat ca în Figura 11.

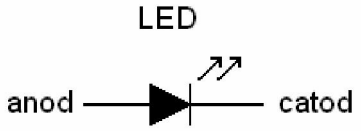

Figura 11. Simbolul electronic al LED-ului.

Spre deosebire de dioda semiconductoare, LED-ul are o tensiune de prag $\mathbf{V_{LED}}$ de aproximativ **1,6÷1,8 [V]**.