I. Modelarea funcţionării diodei semiconductoare prin modele liniare pe porţiuni

În modelul liniar al diodei semiconductoare, se ţine cont de comportamentul acesteia atât în regiunea de conducţie inversă, unde curentul prin diodă este considerat nul, cât şi în regiunea de conducţie directă, în regiunea subprag, unde curentul este, de asemenea considerat nul, cât şi în regiunea superioară pragului, unde creşterea curentului este considerată, în modelul liniar, ca fiind liniară. Modelul liniar al diodei neglijează comportamentul acesteia în regiunea de străpungere.

Modelul liniar pe porţiuni modelează comportamentul diodei semiconductoare în regim de curent continuu, unde valorile mărimilor electrice de terminal ale diodei semiconductoare sunt constante, cât şi în regim variabil de semnal mare, unde valorile mărimilor electrice de terminal ale diodei semiconductoare sunt caracterizate de variaţii de amplitudine mai mare decât ordinul zecilor de milivolţi.

Modelul liniar pe porţiuni al diodei conţine 2 parametri de model, care sunt determinaţi din caracteristica reală de funcţionare a diodei şi anume, tensiunea de prag $\mathbf{V_D}$, respectiv rezistenţa diodei semiconductoare, notată generic $\mathbf{r_D}$.

În general, dacă dioda semiconductoare este fabricată din Siliciu, pentru tensiunea de prag $\mathbf{V_D}$ se adoptă valoarea $\mathbf{V_D = 0{,}6[V]}$. Al 2lea parametru al modelului, şi anume rezistenţa diodei semiconductoare, depinde de regimul de funcţionare.

În Figura 1 se prezintă caracteristica de funcţionare a modelului liniar pe porţiuni. După cum se observă, caracteristica reală de funcţionare a diodei semiconductoare, prezentată în cursul anterior, a fost aproximată prin 3 segmente de dreaptă, fiecare corespunzând câte unei regiuni de funcţionare (conducţie inversă, conducţie subprag, conducţie peste prag).

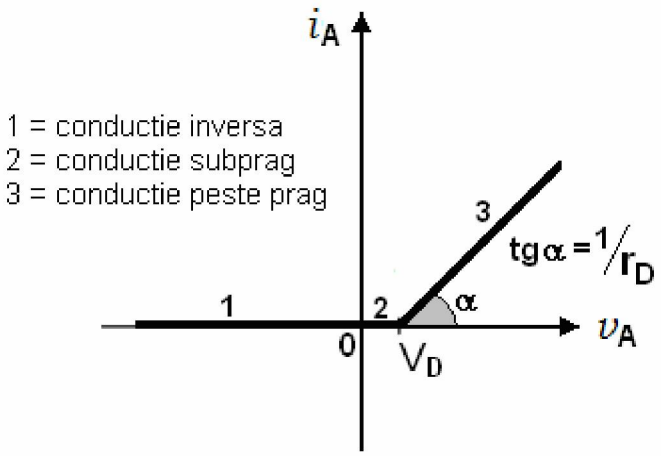

Figura 1. Caracteristica de funcţionare a modelului liniar pe porţiuni al diodei semiconductoare..

Modelul liniar pe porţiuni al diodei semiconductoare este caracterizat de ecuaţia următoare, care, descrie matematic fiecare din cele 3 segmente ale caracteristicii de funcţionare, conform regiunii de funcţionare a acesteia:

$$i_A = \begin{cases} 0 & v_A < 0 & conductie_inversă \\ 0 & 0 \le v_A < V_D & conductie_subprag \\ \dfrac{v_A}{r_D} & V_D \le v_A & conductie_pesteprag \end{cases}$$

2. Circuitul echivalent al modelului liniar pe porţiuni al diodei semiconductoare

În analiza circuitelor electronice care conţin diode, este utilizat circuitul echivalent al modelului liniar pe porţiuni al diodei semiconductoare, care este dedus prin introducerea în circuitul echivalent a elementelor care modelează comportamentul acesteia, în funcţie de regimul de funcţionare.

Astfel, deoarece în regiunea de conducţie inversă curentul electric prin diodă este nul, indiferent de valoarea tensiunii pe aceasta,

$$i_A = 0 \quad (\forall) v_A$$

circuitul echivalent al diodei în această regiune este reprezentat printr-un gol (circuit întrerupt), deoarece prin gol curentul electric este întotdeauna nul, indiferent de valoarea tensiunii care cade pe acesta.

În regiunea de conducţie directă, circuitul echivalent al diodei semiconductoare se deduce pe baza relaţiei tensiunii care cade pe diodă în această regiune de funcţionare. Din ecuaţia de funcţionare a modelului liniar pe porţiuni a diodei semiconductoare, se poate deduce că, pentru întreaga regiune de conducţie directă (atât pentru regiunea subprag cât şi pentru regiunea peste prag) variaţia tensiunii pe diodă, considerând ca sens de referinţă sensul de la anodul spre catodul diodei, este descrisă de relaţia:

$$v_A = V_D + r_D \cdot i_A$$

Circuitul echivalent care modelează comportamentul descris de relaţia de mai sus este compus dintr-o sursă de tensiune de valoare $\mathbf{V_D}$, conectată cu borna pozitivă spre anod şi cea negativă spre catod, înseriată cu rezistenţa diodei simiconductoare $\mathbf{r_D}$.

Pe baza celor descrise mai sus, circuitul echivalent al modelului liniar pe porţiuni al diodei semiconductoare este prezentat în Figura 2. Circuitul din Figura 2.a modelează comportamentul diodei în regiunea de conducţie inversă, iar circuitul echivalent din Figura 2.b modelează comportamentul diodei semiconductoare în regiunea de conducţie directă.

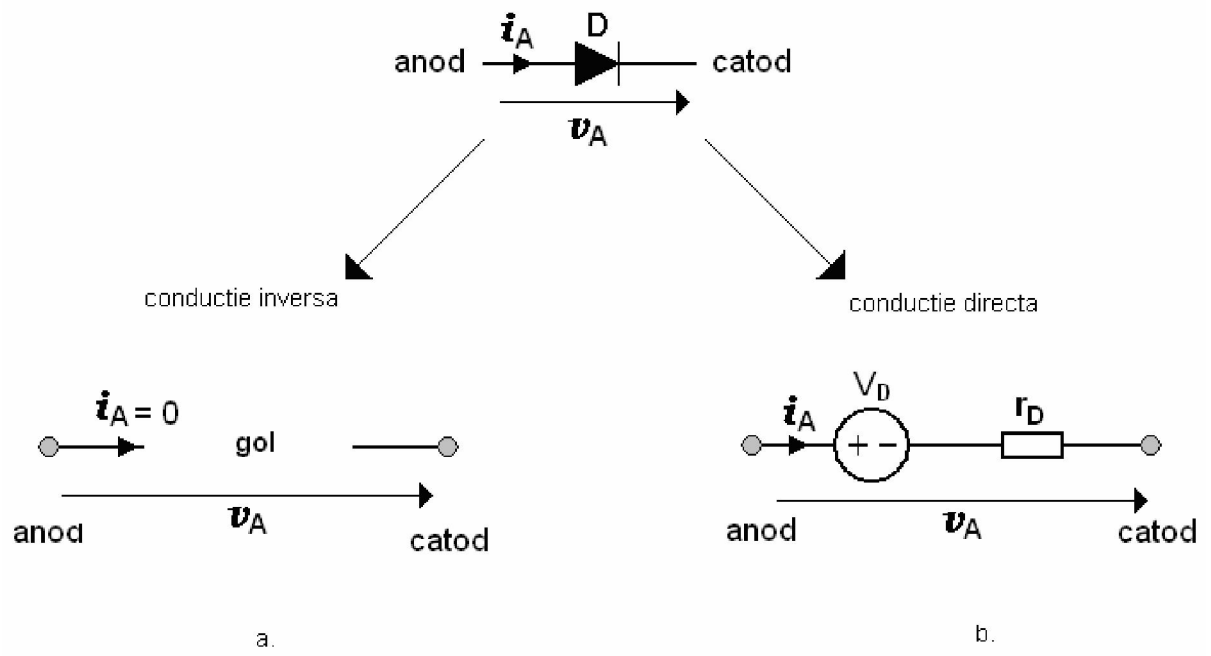

Figura 2. Circuitul echivalent ale modelului liniar pe porţiuni.

Circuitul echivalent al modelului liniar pe porţiuni modelează comportamentul diodei semiconductoare atât în regim de curent continuu, cât şi în regim variabil de semnal mare.

Particularizarea circuitului echivalent al modelului liniar pe porţiuni în regim de curent continuu

Dioda semiconductoare funcţionează în regim de curent continuu dacă valorile mărimilor electrice de terminal, curent prin diodă, respectiv tensiune pe diodă, sunt constante în timp. În acest caz, tensiunea pe diodă se notează $\mathbf{V_A}$, curentul electric prin diodă se notează $\mathbf{I_A}$, iar raportul dintre aceste mărimi electrice determină rezistenţa diodei în curent continuu, notată $\mathbf{R_D}$:

$$R_D = \frac{V_A}{I_A}$$

rezistenţa echivalentă a diodei în curent continuu

În cazul în care dioda funcţionează în regim de curent continuu, circuitul echivalent a modelului liniar pe porţiuni al diodei devine cel din Figura 3, în care, rezistenţa diodei este rezistenţa în curent continuu $\mathbf{R_D}$:

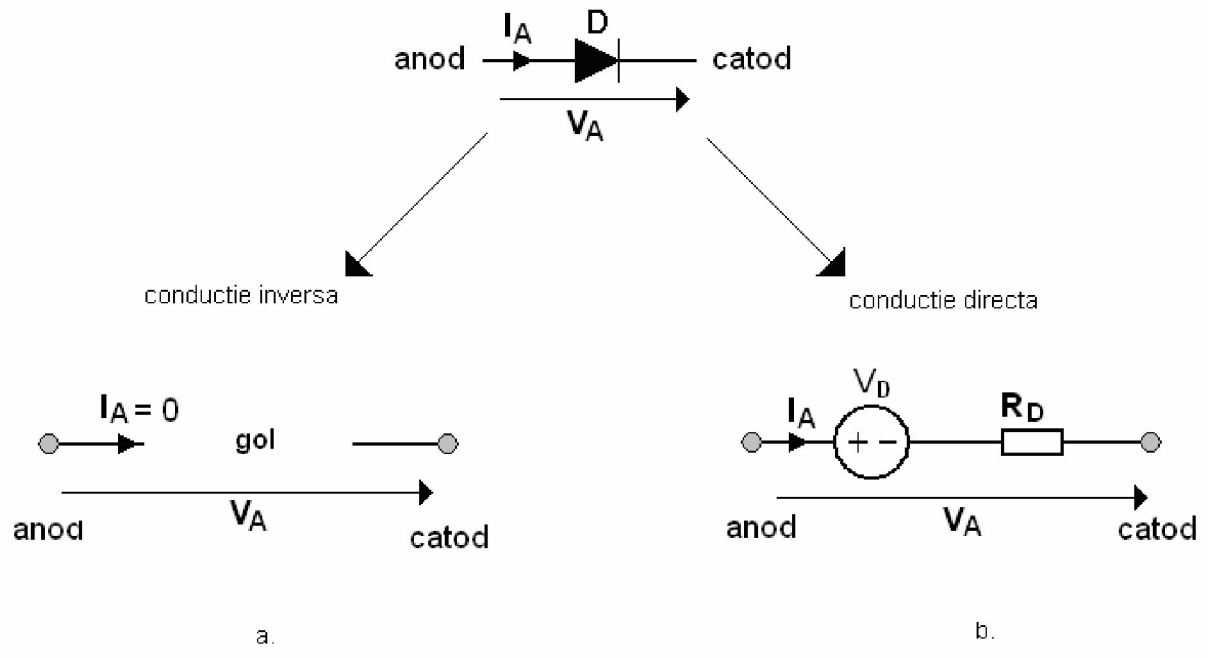

Figura 3. Circuitul echivalent ale modelului liniar pe porţiuni în regim de curent continuu.

Particularizarea circuitului echivalent al modelului liniar pe porţiuni în regim variabil de semnal mare

Dioda semiconductoare funcţionează în regim de variabil de semnal mare dacă valoarea tensiunii pe diodă este caracterizată de variaţii de amplitudini mai mari decât **12,5[mV]**.

În regim variabil, valoarea tensiunii pe diodă aparţine domeniului de valori $\Delta\mathbf{v_A}$ = [$\mathbf{V_{AMIN}}$, $\mathbf{V_{AMAX}}$], iar valoarea curentului electric aparţine domeniului de valori $\Delta\mathbf{i_A}$ = [$\mathbf{I_{AMIN}}$, $\mathbf{I_{AMAX}}$]. Raportul acestor variaţii determină rezistenţa diodei în regim variabil de semnal mare, notată $\mathbf{r_D}$:

$$r_D = \frac{\Delta v_A}{\Delta i_A} = \frac{V_{AMAX} - V_{AMIN}}{I_{AMAX} - I_{AMIN}}$$

rezistenţa echivalentă a diodei în regim variabil de semnal mare

În cazul în care dioda funcţionează în regim variabil de semnal mare, circuitul echivalent a modelului liniar pe porţiuni al diodei este cel prezentat în Figura 2, în care, rezistenţa diodei este rezistenţa diodei semiconductoare se determină utilizînd relaţia de mai sus.

Neglijarea rezistenţei diodei r_D în circuitului echivalent al modelului liniar pe porţiuni

În anumite condiţii, circuitul echivalent al modelului liniar pe porţiuni al diodei semiconductoare se poate simplifica.

Astfel, în cazul în care în circuitul în care este utilizată, dioda semiconductoare este conectată în **serie** cu un rezistor a cărui rezistenţă electrică **R** este mult mai mare decât valoarea rezistenţei diodei, aceasta din urmă se poate neglija în circuitul echivalent, fiind înlocuită cu un scurtcircuit. Motivul pentru care rezistenţa diodei poate fi neglijată constă în faptul că rezistenţa echivalentă grupării serie diodă rezistor poate fi aproximată cu valoarea rezistenţei rezistorului **R**:

$$R + r_D \cong R \quad daca \quad R >> r_D$$

Observaţia de mai sus este valabilă atât pentru cazul în care dioda funcţionează în regim de curent continuu cât şi pentru cazul în care dioda funcţionează în regim variabil de semnal mare.

În ipoteza discutată mai sus (diodă înseriată cu rezistor de rezistenţă electrică mult mai mare decât cea a diodei), circuitul echivalent la diodei, respectiv caracteristica de funcţionare a modelului liniar pe porţiuni, devin cele prezentate în Figura 4 (notaţiile pot fi particularizate în funcţie de regimul de funcţionare a diodei).

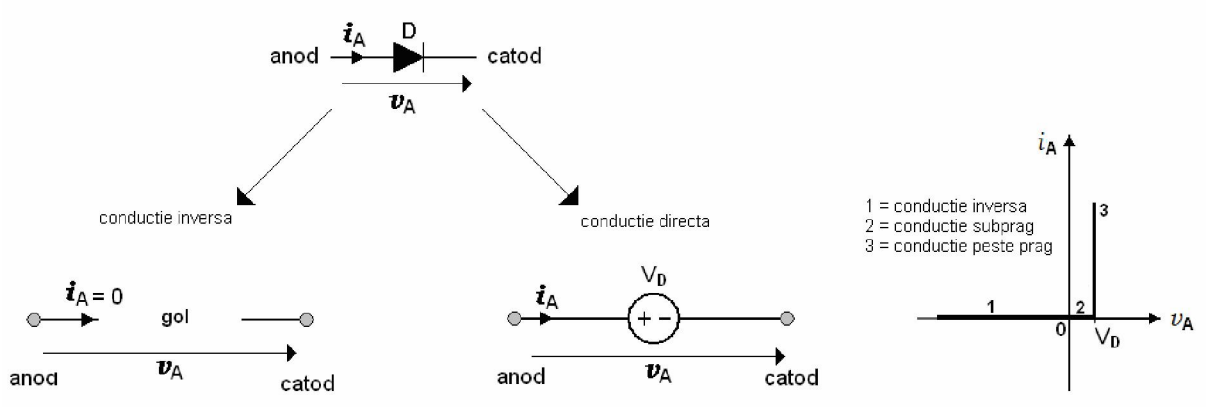

Figura 4. Circuitul echivalent ale modelului liniar pe porţiuni pentru cazul în care dioda este înseriată cu un rezistor de rezistenţă electrică mult mai mare decât rezistenţa diodei.

În regim variabil de semnal mare, în regiunea de conducţie, după atingerea tensiunii de prag, se observă din caracteristica de funcţionare a diodei semiconductoare, faptul că variaţia tensiunii pe aceasta este foarte mică, în timp ce valoarea curentului electric variază semnificativ, datorită dependenţei exponenţiale a curentului electric prin diodă în funcţie de tensiunea pe diodă. Din acest motiv, valoarea rezistenţei diodei în regim variabil de semnal mare este redusă, în general maxim de ordinul zecilor de ohmi. De exemplu, pentru $\Delta \mathbf{v_A}$ = **100 [mV]** şi $\Delta \mathbf{i_A}$ **= 10[mA]** rezultă $\mathbf{r_D}$**=10[Ω]**.

În regim de curent continuu, în regiunea de conducţie, după atingerea tensiunii de prag, se observă din caracteristica de funcţionare a diodei semiconductoare, faptul că valoarea tensiunii pe aceasta este de ordinul sutelor de milivolţi (valori în jurul valorii $\mathbf{V_D = 600[mV]}$), în timp ce valoarea curentului electric este de ordinul miliamperilor. Din acest motiv, valoarea rezistenţei diodei în regim de curent continuu este, în general maxim de ordinul sutelor de ohmi. De exemplu, pentru $\mathbf{V_A = 600\ [mV]}$ şi $\mathbf{I_A = 2[mA]}$ rezultă $\mathbf{R_D=300[\Omega]}$.

Aceste estimări ale ordinului de mărime al rezistenţei diodei permit stabilirea, în funcţie de circuitul analizat, variantei de circuit echivalent al modelului liniar pe porţiuni. Astfel, dacă rezistenţa electrică a rezistorului **R** este cel puţin de zece ori mai mare decât cea a rezistenţei diodei semiconductoare, atunci este indicat să se utilizeze circuitul echivalent în care rezistenţa diodei este neglijată.

Neglijarea tensiunii de prag V_D în circuitului echivalent al modelului liniar pe porţiuni

În cazul în care în circuitul în care este utilizată dioda semiconductoare lucrează la tensiuni de valori mult mai mari decât valoarea tensiunii de prag $\mathbf{V_D=600[mV]}$, atunci sursa de tensiune $\mathbf{V_D}$ se poate neglija în circuitul echivalent al modelului liniar pe porţiuni.

În ipoteza discutată mai sus (diodă înseriată cu rezistor de rezistenţă electrică mult mai mare decât cea a diodei), circuitul echivalent la diodei, respectiv caracteristica de funcţionare a modelului liniar pe porţiuni, devin cele prezentate în Figura 5 (notaţiile pot fi particularizate în funcţie de regimul de funcţionare a diodei).

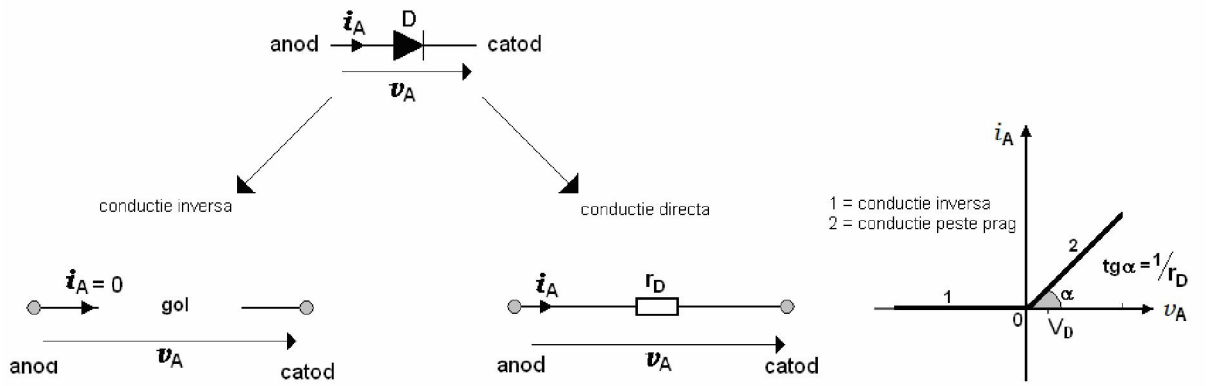

Figura 5. Circuitul echivalent ale modelului liniar pe porţiuni pentru cazul în care tensiunea în circuit este mult mai mare decât valoarea tensiunii de prag V_D.

Circuitul echivalent al diodei ideale

Dacă circuitul în care este utilizată dioda semiconductoare lucrează la tensiuni mult mai mari decât tensiunea de prag $\mathbf{V_D}$ a diodei şi aceasta este înseriată cu un rezistor de rezistenţă electrică mult mai mare decât cea a diodei, atunci, în circuitul echivalent al modelului liniar pe porţiuni se pot neglija atât sursa de tensiuni $\mathbf{V_D}$ cât şi rezistenţa diodei $\mathbf{r_D}$, ambele fiind înlocuite cu un scurtcircuit. În acest caz, circuitul echivalent la diodei, respectiv caracteristica de funcţionare a modelului liniar pe porţiuni, devin cele prezentate în Figura 6 (notaţiile pot fi particularizate în funcţie de regimul de funcţionare a diodei).

Noul circuit echivalent modelează în mod ideal comportamentul diodei şi din acest motiv modelul propus se numeşte **modelul diodei ideale.**

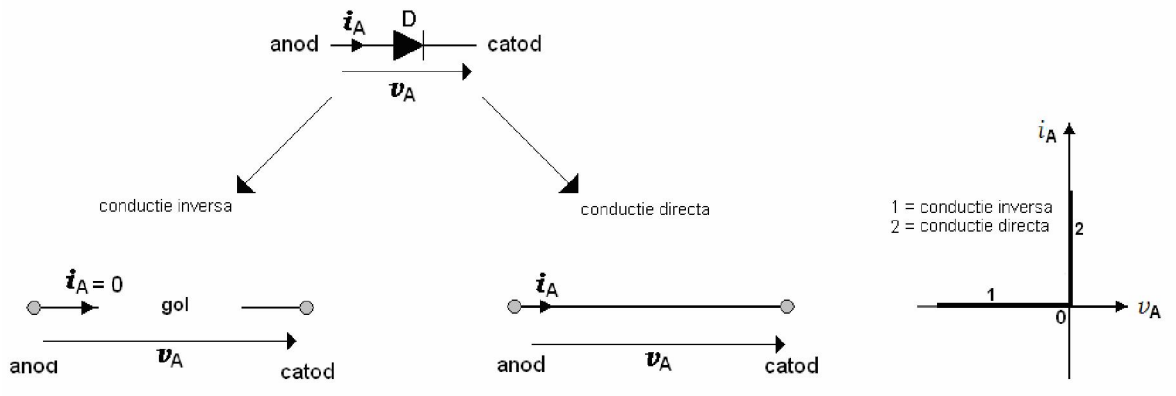

Figura 6. Circuitul echivalent ale modelului liniar pe porţiuni pentru dioda ideală.

Conform acestui model, dioda ideală se comportă astfel:

- în regiunea de **conducţie inversă**: dioda ideală se comportă ca un **gol** (nu permite trecerea curentului prin ea);
- în regiunea de **conducţie directă**: dioda ideală se comportă ca un **scurtcircuit** (permite trecerea curentului prin ea şi tensiunea care cade între terminalele sale este nulă);

3. Modelarea diodei în regim variabil de semnal mic

Acest model se poate aplica numai în cazul în care dioda funcţionează în regim variabil de semnal mic. O diodă semiconductoare funcţionează în regim variabil de semnal mic dacă tensiunea care cade pe terminalele acesteia este caracterizată de variaţii a căror amplitudine este mai mică decât **12,5[mV]**.

Dacă variaţia mărimilor electrice ale diodei este extrem de mică, comportamentul diodei se poate considera ca fiind **liniar** şi se bazează pe aproximarea caracteristicii reale de funcţionare a diodei (prezentată în Figura 4 din cursul 4) cu tangenta la aceasta, dusă în punctul static de funcţionare al diodei. Tangenta respectivă reprezintă chiar conductanţa diodei şi este definită conform relaţiei de mai jos:

$$g_d = \frac{I_A}{V_T} \qquad [g_d] = Siemens = \frac{1}{\Omega}$$

unde **I_A este curentul prin diodă calculat în Punctul Static de Funcţionare.**

Modelul depinde de frecvenţa la care lucrează dioda semiconductoare. Pentru frecvenţe mai mici decât aproximativ **1[MHz]**, modelul este caracterizat de un singur parametru şi anume **rezistenţa de semnal mic a diodei,** notată **r_d**, care se determină ca inversa conductanţei din relaţia de mai sus:

$$\boxed{r_d = \frac{V_T}{I_A}}$$

rezistenţa echivalentă a diodei în regim variabil de semnal mic

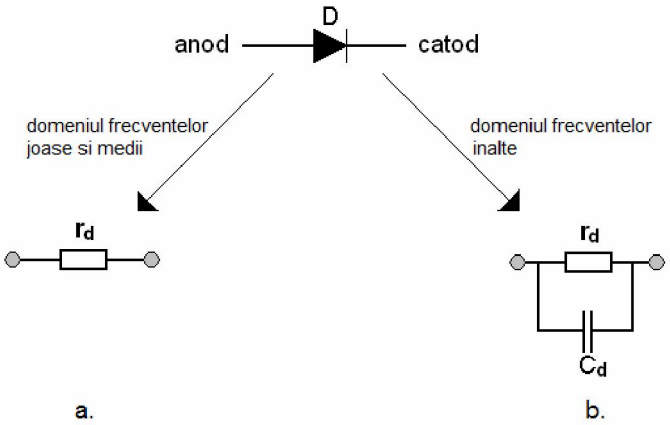

Figura 7. Circuitele echivalente ale diodei în regim variabil de semnal mic.

Circuitul echivalent care modelează comportamentul diodei în aceste condiţii este prezentat în Figura 7.a.

Pentru frecvenţe mai mari decât aproximativ **1[MHz]**, funcţionarea diodei este afectată de anumite fenomene dinamice, de natură capacitivă şi inductivă, care pot fi modelate prin intermediul unor, aşa numite "capacităţi parazite", reunite în parametrul notat $\mathbf{C_d}$. Circuitul echivalent care modelează comportamentul diodei semiconductoare la frecvenţe de funcţionare mai mari decât **1[MHz]** este prezentat în Figura 7.b.

4. Utilizarea circuitelor echivalente ale modelului liniar pe porţiuni

Utilizarea circuitului echivalent în regim de curent continuu

Un circuit electronic funcţionează în regim de cutrent continuu dacă în structura sa există numai surse de tensiune continuă şi/sau surse de curent continuu. În cazul în care dioda face parte din structura unui astfel de circuit, atunci aceasta funcţionează în regim de curent continuu, iar comportamentul acesteia este modelat pe baza circuitului prezentat în Figura 3, în funcţie de regiunea în care funcţionează.

Regiunea de funcţionare a diodei se decide în funcţie de terminalul pe care se aplică potenţialul electric superior. Astfel, dacă potenţialul electric superior se aplică pe anodul diodei, aceasta funcţionează în regiunea de conducţie directă şi în acest caz, comportamentul său este descris cu ajutorul circuitului echivalent din Figura 3.b.

Dacă potenţialul electric superior se aplică pe canodul diodei, aceasta funcţionează în regiunea de conducţie inversă şi în acest caz, comportamentul său este descris cu ajutorul circuitului echivalent din Figura 3.a.

În Figura 8 se reaminteşte circuitul elementar de polarizare al diodei semiconductoare. Determinarea PSFului diodei pe baza sistemului de ecuaţii compus din ecuaţia de funcţionare a diodei şi ecuaţia circuitului (TK2 pe bucla de circuit) este dificilă şi necesită apelarea la metode numerice. Mult mai simplă este determinarea valorii PSFului diodei dacă aceasta este înlocuită cu circuitul echivalent al modelului liniar pe porţiuni.

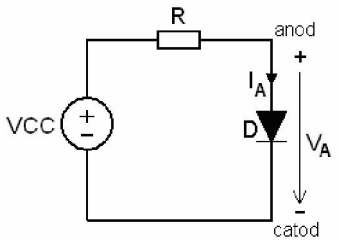

Figura 8. Circuitul de polarizare al diodei semiconductoare.

În acest sens, se observă că borna negativă a sursei de alimentare **VCC** se aplică direct pe catodul diodei, iar borna pozitivă a sursei de alimentare **VCC** se aplică pe anodul diodei, prin intermediul rezistorului **R**. În aceste condiţii, potenţialul electric aplicat pe anod are o valoare mai mare decât cel aplicat pe catod şi în consecinţă dioda funcţionează în regiunea de conducţie directă. Pe baza acestei constatări, dioda semiconductoare **D** se poate înlocui în circuitul de polarizare cu circuitul echivalent din Figura 3.b. În aceste condiţii, circuitul de polarizare din Figura 8 devine cel prezentat în Figura 9.

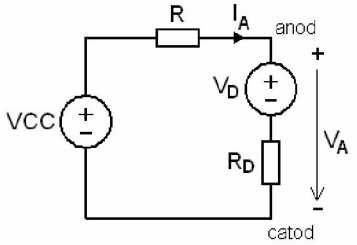

Figura 9. Circuitul de calcul al PSF-ului diodei D.

Circuitul din Figura 9 este liniar (este compus numai din elemente liniare de circuit) şi din acest motiv este mult mai uşor de analizat. Cunoscând parametrii circuiutului echivalent al diodei **(V_D şi R_D),** curentul electric prin diodă în Punctul Static de Funcţionare se poate determina foarte uşor, aplicând TK2 pe bucla circuitului. În continuare, dacă în circuit valoarea rezistenţei electrice **R** este mult mai mare decât valoarea rezistenţei $\mathbf{R_D}$, circuitul din Figura 9 se poate simplifica prin utilizarea pentru diodă a circuitului echivalent prezentat în Figura 4, valabil pentru regimul de conducţie directă.

Utilizarea circuitului echivalent în regim variabil de semnal mare

Un circuit electronic funcţionează în regim variabil de semnal mare dacă mărimile electrice sunt caracterizate de variaţii mari. În cazul diodei semiconductoare, aşa cum s-a precizat, aceasta funcţionează în regim variabil de semnal mare dacă valoarea tensiunii pe diodă este caracterizată de variaţii de amplitudini mai mari decât **12,5[mV]**.

Modul în care este utilizat circuitul echivalent al modelului liniar pe porţiuni în acest regim de funcţionare este prezentat pe un exemplu de circuit, denumit redresor monofazat de tensiune.

Redresoarele de tensiune sunt circuite utilizate în sursele de alimentare ale sistemelor electronice. Redresorul de tensiune realizează conversia energiei de curent alternativ în energie de curent continuu. Există 2 tipuri de redresoare monofozate şi anume:

- redresoare monoalternanţă
- redresoare bialternanţă

Ca exemplu în discuţia care urmează se consideră cazul redresorului monofazat monoalternanţă. Schema de bază a acestuia este prezentată în Figura 10, unde **D** reprezintă o diodă semiconductoare specială, denumită diodă redresoare, iar $\mathbf{R_L}$ reprezintă sarcina redresorului. La intrarea redresorului se aplică o tensiune sinusiodală $\mathbf{v_i(t)}$ de amplitudine mare (de ordinul zecilor de volţi), a cărei componentă medie este nulă (variaţia tensiunii de intrare este axată pe zero volţi).

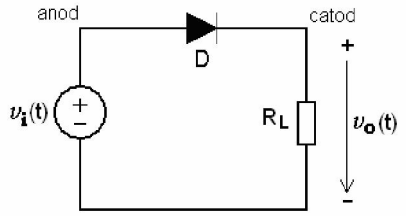

Figura 10. Schema redresorului monofazat monoalternanţă.

Funcţionarea redresorului de tensiune depinde de alternanţa tensiunii sinusoidale de intrare $\mathbf{v_I(t)}$. Determinarea tensiunii de ieşire $\mathbf{v_o(t)}$ se efectuează pe 2 circuite echivalente diferite, care depind de alternanţa tensiunii de intrare $\mathbf{v_i(t)}$.

În alternanţa pozitivă, când $\mathbf{v_i(t)>0[V]}$, pe anodul diodei se aplică potenţialul electric superior, iar aceasta funcţionează în regiunea de conducţie directă şi poate fi înlocuită cu modelul prezentat în Figura 2.a.

În alternanţa negativă, când $\mathbf{v_i(t)<0[V]}$, pe anodul diodei se aplică potenţialul electric inferior ($\mathbf{v_I}$ îşi schimbă în această alternanţă polaritatea), iar aceasta funcţionează în regiunea de conducţie inversă şi poate fi înlocuită cu modelul prezentat în Figura 2.b. Ţinând cont de acestea, comportamentul redresorului din Figura 10 poate fi modelat în cele 2 alternanţe ale tensiunii de intrare $\mathbf{v_I}$ prin intermediul celor 2 circuite echivalente din Figura 11.

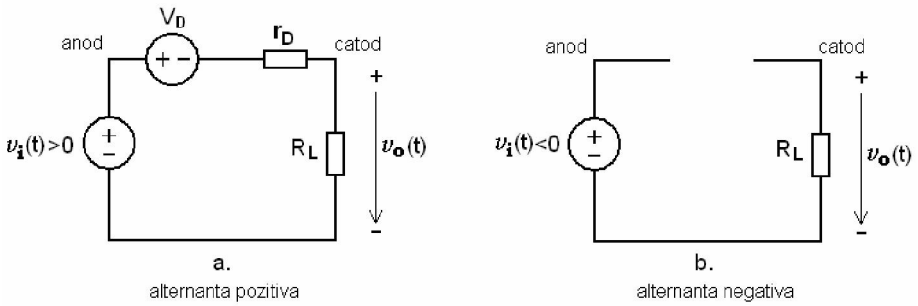

Figura 11. Modelarea comportamentului redresorului de tensiune pe baza circuitelor echivalente: a. modelarea în alternanţa pozitivă a lui $\mathbf{v_I}$; b. modelarea în alternanţa negativă a lui $\mathbf{v_I}$.

În continuare, deoarece amplitudinea tensiunii de intrare este mult mai mare decât valoarea tensiunii de prag a diodei ($\mathbf{V_D \cong 0,6[V]}$), sursa de tensiune $\mathbf{V_D}$ se poate neglija din circituitul echivalent. Totodată, deoarece în general valoarea rezistenţei $\mathbf{R_L}$ este mult mai mare decât valoarea rezistenţei echivalente a diodei $\mathbf{r_D}$, şi acesta diin urmă se poate neglija în circuitul echivalent. Cu aceste simplificări, comportamentul redresorului din Figura 10 poate fi modelat în cele 2 alternanţe ale tensiunii de intrare $\mathbf{v_I}$ prin intermediul celor 2 circuite echivalente din Figura 12, în care s-a utilizat pentru diodă modelul ideal.

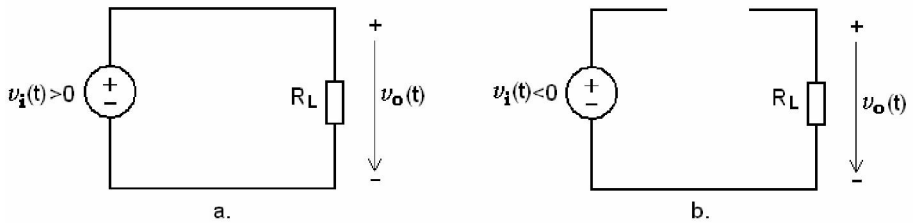

Figura 12. Circuitele echivalente care modelează comportamentul redresorului în funcţie de alternanţa tensiunii de intrare $\mathbf{v_i(t)}$.

Pe baza circiuitelor echivalente din Figura 12, se poate determina ecuaţia care descrie comportamentul redresorului de tensiune monoalternanţă. Astfel, valoarea tensiunii de ieşire $\mathbf{v_O}$ a redresorului monoalternanţă este descrisă de relaţia:

$$\boxed{v_O(t)=\begin{cases} v_i(t) & daca \quad v_i(t)>0 \\ 0 & daca \quad v_i(t)\leq 0 \end{cases}}$$

Pe baza acestei ecuaţii, forma de undă a tensiunii de ieşire a redresorului rezultă conform celei prezentate în Figura 13.

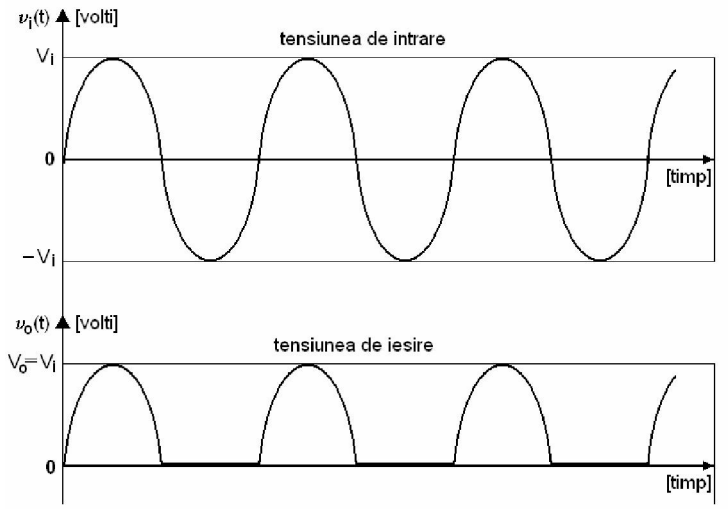

Figura 13. Formele de undă ale tensiunilor redresorului.

5. Utilizarea circuitului echivalent al diodei în regim variabil de semnal mic

În cazul în care dioda este introdusă într-un circuit aliementat atât de la o sursă de tensine continuă, cât şi de la o sursă de tensiune variabilă, atunci dioda respectivă funcţionează atât în regim de curent continuu, cât şi variabil. În plus, dacă amplitudinea tensiunii care cade pe terminalele diodei este mai mică decât **12,5mV**, atunci regimul variabil în care funcţionează dioda respectivă este de semnal mic.

În aceste condiţii, modelarea comportmanetului diodei semiconductoare în regim variabil de semnal mic se realizează pe baza circuitelor echivalente prezentate în Figura 7. Deoarece în circuitul echivalent se utilizează rezistenţa de semnal mic a diodei a cărei valoare depinde, conform formulei de calcul, de valoarea curentului prin diodă $\mathbf{I_A}$ determinat în Punctul Static de Funcţionare al acesteia, pentru utilizarea circuitelor echivalente din Figura 7 este necesar ca, înainte de utilizarea acestui, să se determine valoarea curentului $\mathbf{I_A}$.

Determinarea curentului prin diodă $\mathbf{I_A}$ determinat în Punctul Static de Funcţionare al acesteia se realizează efectuând analiza circuitului în curent continuu.

Analiza circuitului în regim de curent continuu se realizează pe un nou circuit echivalent, denumit **circuitul echivalent în curent continuu**, care modelează comportamentul acestuia doar în regim de curent continuu.

Circuitul echivalent în curent continuu se obţine ţinând de următoarele reguli:

- sursele de tensiune **variabilă** $\mathbf{v_i}$ se pasivizează; pasivizarea unei surse de tensiune constă în înlocuirea acesteia între bornele sale cu un scurtcircuit (fir);
- dioda **D** se înlocuieşte, în funcţie de regiunea de funcţionare, cu unul din circuitele echivalente din Figura 3.

Abia după calculul valorii curentului $\mathbf{I_A}$ pe circuitul echivalent în regim de curent continuu, se poate trece la calculul rezistenţei diodei în regim variabil de semnal mic, $\mathbf{r_d}$ şi ulterior, modelarea comportamentului diodei în regim variabil de semnal mic.

Analiza circuitului în regim variabil de semnal mic se realizează pe un nou circuit echivalent, denumit **circuitul echivalent de semnal mic**, care modelează comportamentul acestuia doar în regim variabil de semnal mic.

Circuitul echivalent în semnal mic se obţine ţinând de următoarele reguli:

- sursele de tensiune **continuă** $\mathbf{V_{CC}}$ se pasivizează; pasivizarea unei surse de tensiune constă în înlocuirea acesteia între bornele sale cu un scurtcircuit (fir);
- dioda **D** se înlocuieşte cu unul din circuitele echivalente din Figura 7.