

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

Partea I. Determinarea rezistenței electrice a diodei în funcție de regimul de funcționare.

În funcție de valoarea variației mărimilor electrice ale diodei, aceasta poate funcționa în 3 regimuri distincte de funcționare:

- regimul de curent continuu: variația mărimilor electrice este nulă, valorile marimilor electrice fiind constante în timp;
- regimul variabil de semnal mare: variația tensiunii electrice a diodei depășește ordinul zecilor de milivolți;
- regim variabil de semnal mic: variația tensiunii electrice a diodei (amplitudinea tensiunii electrice a diodei) este cel mult 12,5 milivolți.

Pentru fiecare regim de funcționare, dioda are o rezistență electrică, determinată în mod diferit:

- regimul de curent continuu: rezistența de curent continuu, notată R_D ;
- regimul variabil de semnal mare: rezistența de semnal mare, notată r_D ;
- regim variabil de semnal mic: rezistența de semnal mic, notată r_d .

1. Determinarea rezistenței de curent continuu a diodei din caracteristica de funcționare a diodei

Dacă printr-o diodă trece un curent continuu I_A , iar pe aceasta cade o tensiune continuă V_A , atunci rezistența de curent continuu a diodei, notată R_D se poate determina direct din informațiile furnizate de caracteristica de funcționare a diodei cu relația:

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

dacă $V_A > V_D$

respectiv cu relația

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

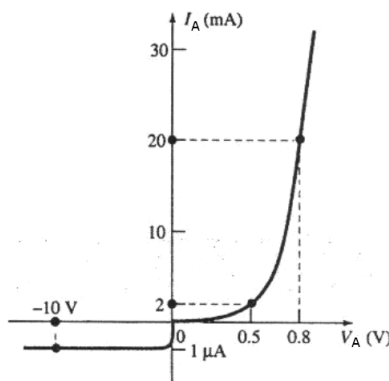
dacă $V_A < V_D$

unde V_D este tensiunea de prag a diodei, care, pentru diodele semiconductoare realizate din Siliciu are valoare $V_D = 0,6$ [V].

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

Problema 1. O diodă semiconductoră are caracteristica de funcționare indicată în figura de mai jos. Să se determine valoarea rezistenței de curent continuu a diodei respective dacă:

- curentul continuu prin aceasta este egal cu 2 [mA].
- curentul continuu prin aceasta este egal cu 20 [mA].
- tensiunea continuă pe aceasta este egală cu -10 [V].



Rezolvare:

a. conform caracteristicii de funcționare, atunci când curentul continuu prin dioda considerată este egal cu 2[mA], tensiunea pe aceasta este egală cu 0,5[V] (mai mică decât tensiunea de prag $V_D = 0.6[V]$). În acest caz, valoarea rezistenței diodei în curent continuu este:

$$R_D = \frac{V_A}{I_A} = \frac{0,5[V]}{2[mA]} = \frac{0,5}{2} [k\Omega] = 0,25[k\Omega] = 250[\Omega]$$

b. conform caracteristicii de funcționare, atunci când curentul continuu prin dioda considerată este egal cu 20 [mA], tensiunea pe aceasta este egală cu 0,8[V] (mai mică decât tensiunea de prag $V_D = 0.6[V]$). În acest caz, valoarea rezistenței diodei în curent continuu este:

$$R_D = \frac{V_A - V_D}{I_A} = \frac{0,8[V] - 0,6[V]}{20[mA]} = \frac{0,2}{20} [k\Omega] = 0,01[k\Omega] = 10[\Omega]$$

c. conform caracteristicii de funcționare, atunci când tensiunea continuă pe dioda considerată este egală cu -10[V], curentul electric prin aceasta este egală cu -1[μA]. În acest caz, valoarea rezistenței diodei în curent continuu este:

$$R_D = \frac{V_A}{I_A} = \frac{-10[V]}{-1[\mu A]} = \frac{10}{1} [M\Omega] = 10[M\Omega] \quad M\Omega = \text{megohmi} = 10^6 \text{ ohmi}$$

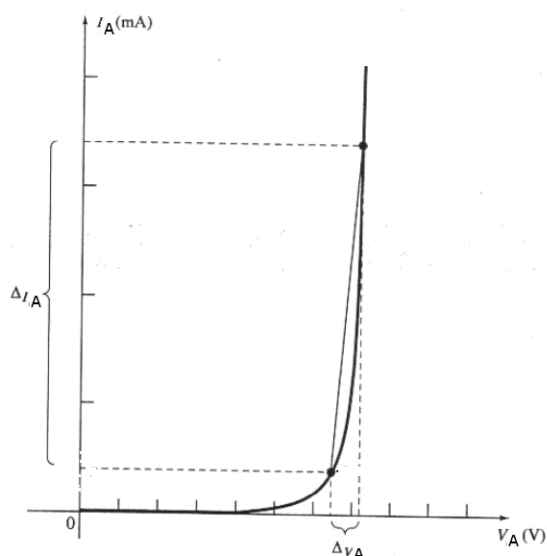
2. Determinarea rezistenței de semnal mare a diodei

Dacă printr-o diodă, atât curentul electric cât și tensiunea electrică variază, iar **amplitudinea variației tensiunii** depășește ordinul zecilor de milivolți (pragul utilizat pentru delimitarea acestui regim de funcționare este **12,5 [mV]**), atunci se spune că dioda lucrează în **regim variabil de semnal mare**.

În cazul în care dioda lucrează în regim variabil de semnal mare, pentru aceasta se definește rezistența de semnal mare, notată r_D , care se calculează ca raport între variația tensiunii pe diodă Δv_A și variația curentului prin diodă Δi_A , conform relației de mai jos,

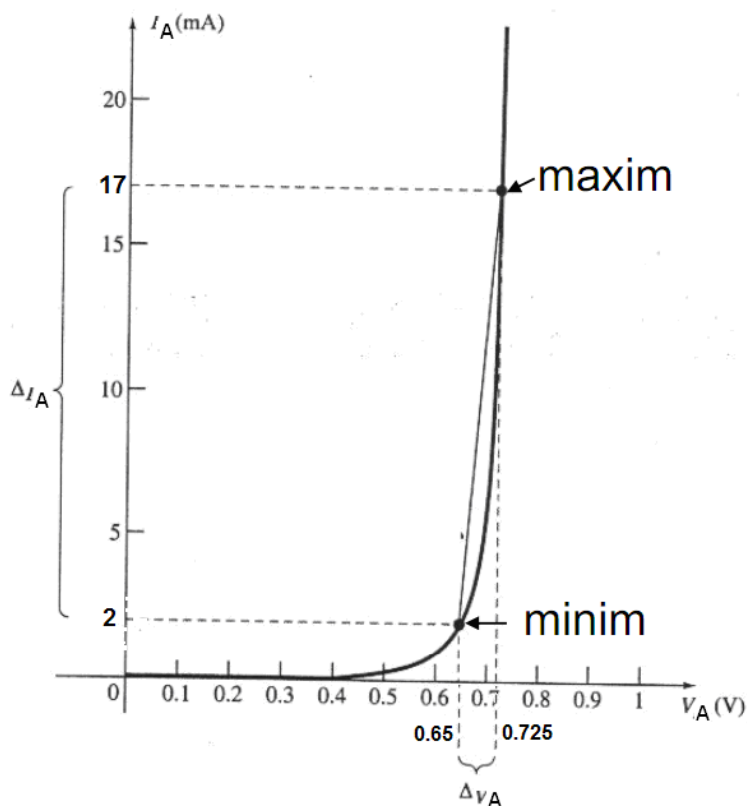
$$r_D = \frac{\Delta v_A}{\Delta i_A}$$

unde cele 2 variații sunt determinate pe caracteristica de funcționare a diodei respective.



Problema 2. O diodă semiconductoare are caracteristica de funcționare indicată în figura de mai jos. Să se determine valoarea rezistenței diodei respective dacă curentul electric variază prin diodă între valoarea minimă **2 [mA]** și valoarea maximă **17 [mA]**.

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda



Rezolvare:

Conform caracteristicii de funcționare, atunci când valoarea curentului electric prin diodă atinge valoarea minimă de **2 [mA]**, valoarea tensiunii pe diodă are valoarea **0,65 [V]**, iar când valoarea curentului electric prin diodă atinge valoarea maximă de **17 [mA]**, valoarea tensiunii pe diodă are valoarea **0,725 [V]**. În acest caz, variația curentului electric prin diodă este

$$\Delta i_A = i_{A \max} - i_{A \min} = 17[\text{mA}] - 2[\text{mA}] = 15[\text{mA}]$$

iar variația tensiunii electrice pe diodă este

$$\Delta v_A = v_{A \max} - v_{A \min} = 0,725[\text{V}] - 0,65[\text{V}] = 0,075[\text{V}] = 75[\text{mV}]$$

Regimul în care dioda funcționează se decide în funcție de amplitudinea tensiunii pe diodă, notată V_a , care este egală cu jumătatea variației tensiunii pe diodă:

$$V_a = \frac{\Delta v_A}{2} = \frac{75}{2}[\text{mV}] = 37,5[\text{mV}]$$

Deoarece amplitudinea tensiunii pe diodă este de ordinul zecilor de milivolți, se poate considera că dioda funcționează în regim variabil de semnal mare, și în acest caz, valoarea rezistenței de semnal mare a diodei este:

$$r_D = \frac{\Delta v_A}{\Delta i_A} = \frac{0,075[\text{V}]}{15[\text{mA}]} = 0,005[\text{k}\Omega] = 5[\Omega]$$

3. Determinarea rezistenței de semnal mic a diodei

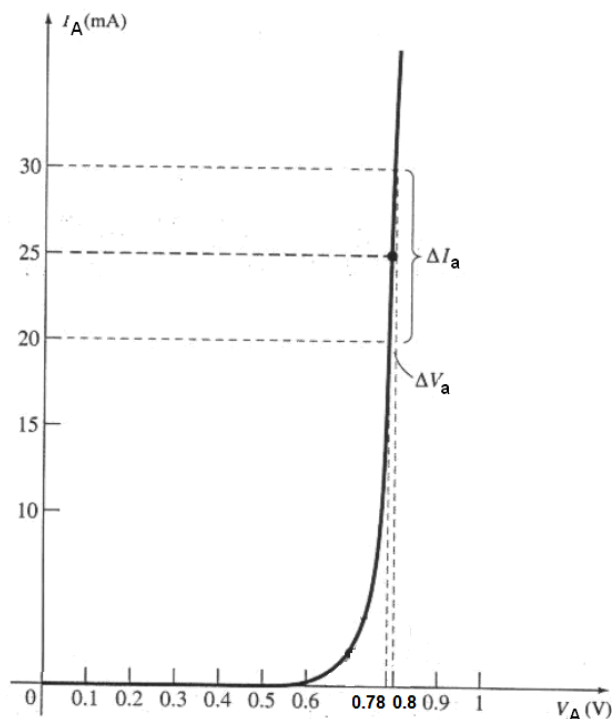
Dacă pe o diodă, **amplitudinea variației tensiunii** electrice este **mai mică decât** aproximativ **12,5 milivolți**, atunci se spune că dioda respectivă lucrează **în regim variabil de semnal mic**.

În acest caz, pentru diodă se definește rezistența de semnal mic, notată r_d , care se calculează ca raportul dintre valoarea tensiunii termice V_T și valoarea curentului continuu pe diodă I_A , conform relației de mai jos,

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

Tensiunea termică depinde de valoarea temperaturii la care lucrează circuitul; de exemplu, la temperatura $T=25^\circ\text{C}$, $V_T = 25 \text{ [mV]}$.

Problema 3. O diodă semiconductoare are caracteristica de funcționare indicată în figura de mai jos. Să se determine valoarea rezistenței diodei respective dacă se cunoaște faptul că valoarea curentului electric variază prin diodă între valoarea minimă **20[mA]** și valoarea maximă **30[mA]**, iar valoarea curentului continuu a acestuia este egală cu **25[mA]**. Rezistența diodei se calculează la temperatura $T = 25^\circ\text{C}$.



Rezolvare:

Conform caracteristicii de funcționare, atunci când valoarea curentului electric prin diodă atinge valoarea minimă de **20[mA]**, valoarea tensiunii pe dioda are valoarea **0,78 [V]**, iar când valoarea curentului electric prin

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

diodă atinge valoarea maximă de **30[mA]**, valoarea tensiunii pe diodă are valoarea **0,8[V]**. În acest caz, variația tensiunii electrice pe diodă este.

$$\Delta v_A = v_{Amax} - v_{Amin} = 0,8[V] - 0,78[V] = 0,002[V] = 20[mV]$$

Regimul în care dioda funcționează se decide în funcție de amplitudinea tensiunii pe diodă, notată V_a , care este egală cu jumătatea variației tensiunii pe diodă:

$$V_a = \frac{\Delta v_A}{2} = \frac{20}{2}[mV] = 10[mV]$$

Deoarece amplitudinea tensiunii pe diodă este mai mică decât pragul de 12,5 milivolți, se poate considera că dioda funcționează în regim variabil de semnal mic, și în acest caz, valoarea rezistenței de semnal mic a diodei este:

$$r_d = \frac{V_T}{I_A} = \frac{25[mV]}{25[mA]} = 1[\Omega]$$

În calculul de mai sus, s-a ținut cont că valoarea curentului continuu prin diodă este egală cu valoarea sa medie, care, conform valorilor de pe caracteristica de funcționare a diodei este egală cu **25 [mA]**.

Partea II. Circuite cu diode în regim de curent continuu.

În cazul în care într-un circuit electronic, toate mărimile sale electrice (curenți electrice și tensiuni electrice) au valori constante în timp, atunci circuitul respectiv funcționează în **regim de curent continuu**. Un circuit electronic funcționează în regim de curent continuu dacă este alimentat doar de la surse de tensiune continuă (valoarea tensiunii generate nu se modifică în timp și este independentă de circuitul alimentat), respectiv de la surse de curent continuu (valoarea curentului electric generat nu se modifică în timp și este independentă de circuitul alimentat).

Comportamentul diodei în regim de curent continuu depinde de regiunea de funcționare în care aceasta lucrează. Regiunile de funcționare ale diodei sunt:

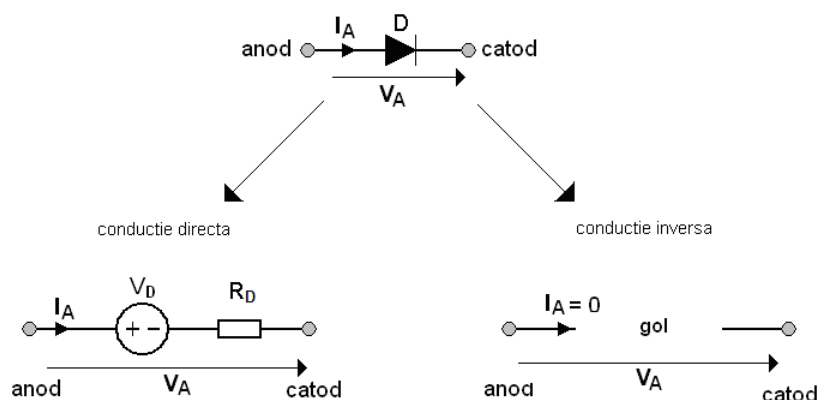
- **conducție directă:** potențialul electric aplicat pe anodul diodei este mai mare decât potențialul electric aplicat pe catod.
- **conducție inversă:** potențialul electric aplicat pe anodul diodei este mai mic decât potențialul electric aplicat pe catod. În conducție inversă, în cazul în care tensiunea aplicată pe diodă atinge pragul de străpungere, reprezenta prin tensiunea de străpungere V_{BR} (pentru diodele semiconductoare uzuale pragul de străpungere are o valoare foarte mare), dioda intră în regiunea de străpungere și se modelează prin intermediul unei rezistențe de valoare foarte mică. În toate aplicațiile prezentate în continuare, se consideră că pentru dioda din circuitul în care aceasta este utilizată, nu sunt îndeplinite condițiile necesare pentru ca această să se străpungă.

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

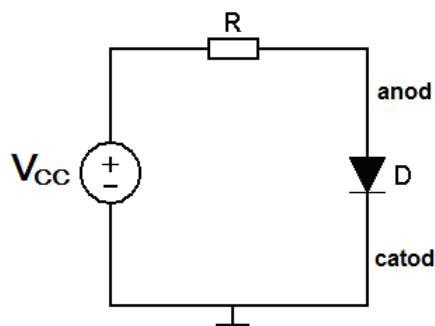
Astfel, dacă dioda funcționează în regiunea de conducție directă, comportamentul acesteia se poate modela prin intermediul unei surse de tensiune continuă, care generează o tensiune continuă notată V_D , conectată cu borna + la anod și borna - la catod conectată în serie cu o rezistență de curent continuu R_D . În cazul în care nu se specifică explicit o altă valoare pentru parametrul V_D , valoarea acestuia se consideră implicit ca fiind egală cu **0,6 volți** (pentru diodele realizate din Siliciu).

Dacă dioda funcționează în conducție inversă, comportamentul acesteia se poate modela prin intermediul unui gol – circuit întrerupt – între terminalele diodei.

În figura de mai jos sunt prezentate circuitele echivalente ale diodei semiconductoare utilizate în aplicații, în funcție de regiunea de funcționare.



Problema 4. Pentru figura de mai jos se consideră $V_{CC} = 5[V]$, $R = 2,1[k\Omega]$. **a.** Care este regiunea în care funcționează dioda? **b.** Să se determine valoarea curentului continuu prin diodă și a tensiunii continue pe diodă, dacă se consideră că rezistența de curent continuu a diodei este $R_D = 10[\Omega]$. **c.** Să se calculeze valoarea rezistenței de semnal mic a diodei la temperatura $T = 25^{\circ}C$.



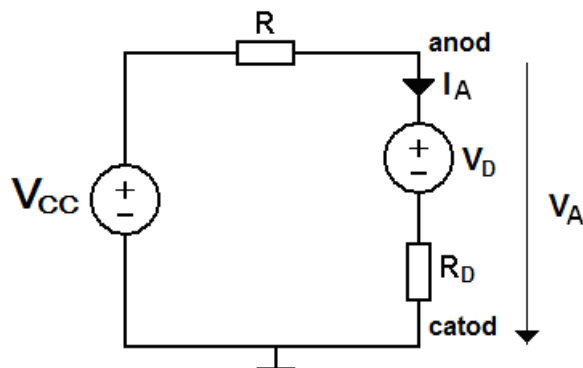
Rezolvare:

a. Deoarece singura sursă de alimentare din circuit este o sursă de tensiune continuă (V_{CC}), dioda funcționează în regim de curent continuu. În continuare, se observă că borna negativă a sursei de alimentare V_{CC} se aplică direct pe catodul diodei, iar borna pozitivă a sursei de alimentare V_{CC} se aplică pe anodul diodei, prin intermediul

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

rezistorului R . În aceste condiții, potențialul electric aplicat pe anod are o valoare mai mare decât cel aplicat pe catod și în consecință dioda funcționează în regiunea de conducție directă.

b. pentru calculul curentului continuu prin diodă, aceasta se înlocuiește cu circuitul său echivalent în curent continuu, valabil în conducție directă. Astfel, circuitul inițial devine cel din figura de mai jos. **Atenție! Sensul curentului electric prin diodă trebuie orientat de la anod spre catod, iar sursa de tensiune V_D , care modelează tensiunea de prag a diodei, trebuie să fie orientată cu borna pozitivă spre anod, iar cea negativă spre catod.** Dacă nu se respectă aceste convenții, circuitul echivalent pe care se fac calculele în regim de curent continuu este greșit.



Circuitul echivalent valabil în regim de curent continuu.

Relația matematică a curentului continuu prin diodă, notat I_A , se deduce aplicând teorema lui Kirchhoff 2 pe bucla de circuit formată; alegând pentru parcurgerea buclei de circuit sensul orar, rezultă:

$$R \cdot I_A + V_D + R_D \cdot I_A - V_{CC} = 0 \quad \Rightarrow \quad I_A = \frac{V_{CC} - V_D}{R + R_D}$$

Deoarece pentru parametrul V_D nu s-a specificat explicit nicio valoare, pentru tensiunea de prag a diodei se adoptă valoarea $V_D = 0,6 \text{ [V]}$:

$$\Rightarrow I_A = \frac{5[V] - 0,6[V]}{2,1[k\Omega] + 0,01[k\Omega]} = \frac{4,4[V]}{2,11[k\Omega]} \cong 2,1[mA]$$

Tensiunea continuă pe diodă se determină cu relația următoare:

$$V_A = R_D \cdot I_A + V_D \quad \Rightarrow \quad V_A = 0,01[k\Omega] \cdot 2,1[mA] + 0,6[V] = 0,021[V] + 0,6[V] = 0,621[V]$$

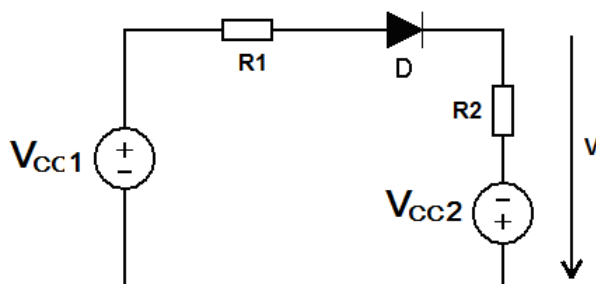
Perechea de mărimi electrice continue I_A , V_A se numește Punct Static de Funcționare al diodei.

c. Rezistența de semnal mic a diodei se calculează cu relația:

$$r_d = \frac{V_T}{I_A} = \frac{25[mV]}{2,11[mA]} \cong 11,84[\Omega]$$

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

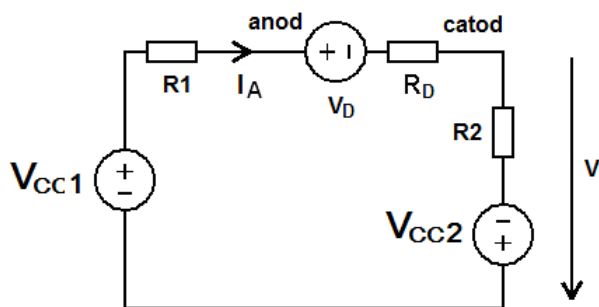
Problema 5. Pentru figura de mai jos se consideră $V_{CC1} = 10[V]$, $R_1 = 3,6[k\Omega]$, $V_{CC2} = 5[V]$, $R_2 = 2,2[k\Omega]$. Să se calculeze valoarea curentului continuu prin diodă și valoarea tensiunii V știind că valoarea rezistenței curent continuu a diodei este $R_D = 20[\Omega]$.



Rezolvare:

Deoarece singurele surse de alimentare din circuit sunt surse de tensiune continuă, dioda funcționează în regim de curent continuu. În cazul în care în circuit sunt 2 sau mai multe surse de tensiune continuă, nu se poate afirma cu certitudine care este regiunea în care dioda funcționează. Din acest motiv, **inițial se presupune că dioda funcționează în regiunea de conducție directă** și apoi se calculează curentul continuu prin diodă, stabilit cu sensul de la anod spre catod. În cazul în care valoarea numerică a curentului calculat rezultă pozitivă, atunci presupunerea este adevărată, iar dioda funcționează în regiunea de conducție directă. În cazul în care valoarea numerică a curentului calculat rezultă negativă, atunci presupunerea este falsă, iar dioda funcționează în regiunea de conducție inversă, caz în care valoarea curentului electric prin dioda respectivă este zero amperi.

Pentru calculul curentului continuu prin circuit, dioda se înlocuiește cu circuitul său echivalent în curent continuu, în conducție directă, iar circuitul inițial devine cel din figura de mai jos.



Circuitul echivalent în regim de curent continuu.

Relația matematică a curentului continuu se deduce aplicând teorema lui Kirchhoff 2 pe bucla de circuit formată; alegând pentru sensul de parcurgere al buclei sensul orar, rezultă:

$$R_1 \cdot I_A + V_D + R_D \cdot I_A + R_2 \cdot I_A - V_{CC2} - V_{CC1} = 0 \quad \Rightarrow \quad I_A = \frac{V_{CC1} + V_{CC2} - V_D}{R_1 + R_D + R_2}$$

Deoarece pentru tensiunea de prag V_D nu s-a specificat explicit nicio valoare, se adoptă valoarea $V_D = 0,6 [V]$

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

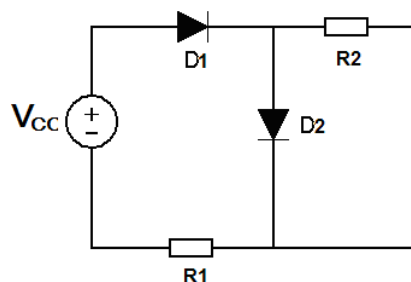
$$\Rightarrow I_A = \frac{10[V] + 5[V] - 0,6[V]}{3,6[k\Omega] + 0,02[k\Omega] + 2,2[k\Omega]} = \frac{14,4[V]}{5,82[k\Omega]} \cong 2,47[mA]$$

Valoarea curentului electric, cu sensul de la anod spre catod a rezultat pozitivă, deci presupunerea inițială este corectă. În cazul în care valoarea curentului electric ar fi rezultat negativă, atunci dioda ar fi funcționat în regiunea de conducție inversă. În acest caz, curentul continuu prin diodă ar fi fost considerat zero, deoarece, atunci când funcționează în conducție inversă, dioda nu permite trecerea curentului electric prin ea.

Tensiunea V este tensiunea care cade pe elementele de circuit R_2 și V_{CC2} . Ținând cont de referințele mărimilor electrice din circuit, tensiunea V se calculează cu relația:

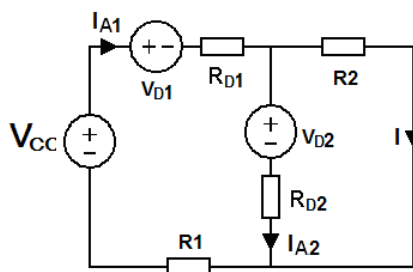
$$V = R_2 \cdot I_A - V_{CC2} = 2,2[k\Omega] \cdot 2,47[mA] - 5[V] = 5,434[V] - 5[V] = 0,434[V]$$

Problema 6. Pentru figura de mai jos se consideră $V_{CC} = 10 [V]$, $R_1 = 4,7[k\Omega]$, $R_2 = 2,7[k\Omega]$, iar parametrii diodelor sunt $V_{D1} = 0,6[V]$, $R_{D1} = 20[\Omega]$, respectiv $V_{D2} = 0,6[V]$, $R_{D2} = 40[\Omega]$. Să se calculeze valorile curenților continui prin cele 2 diode.



Rezolvare:

Deoarece singura sursă de alimentare din circuit este sursă de tensiune continuă, diodele funcționează în regim de curent continuu. În continuare, se presupune că ambele diode funcționează în regiunea de conducție directă și se calculează curenții continui prin acestea, al căror sens este stabilit de la anod spre catod. În cazul în care valoarea numerică a curenților calculați rezultă pozitivi, atunci presupunerea este adevărată, iar diodele funcționează într-adevăr în regiunea de conducție directă. În cazul în care valoarea numerică a unui curent calculat rezultă negativă, atunci presupunerea este falsă, iar dioda respectivă funcționează în regiunea de conducție inversă, caz în care curentul prin aceasta este nul.



Circuitul echivalent valabil în regim de curent continuu.

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

Aplicând teorema lui Kirchhoff 1 în nodul de circuit în care sunt conectate D1, D2 și R2, rezultă:

$$I_{A1} - I_{A2} - I = 0 \quad (1)$$

Aplicând teorema lui Kirchhoff 2 pe bucla de circuit formată din elementele **R2**, **RD2** și **VD2** și alegând pentru parcurgerea buclei respective sensul orar, rezultă:

$$R_2 \cdot I - R_{D2} \cdot I_{A2} - V_{D2} = 0 \quad (2)$$

Aplicând teorema lui Kirchhoff 2 pe bucla de circuit formată din elementele **VD1**, **RD1**, **VD2**, **RD2**, **R1** și **VCC** și alegând pentru parcurgerea buclei respective sensul orar, rezultă:

$$V_{D1} + R_{D1} \cdot I_{A1} + V_{D2} + R_1 \cdot I_{A1} + R_{D2} \cdot I_{A2} - V_{CC} = 0 \quad (3)$$

Din relațiile 1 și 2 rezultă: $R_2 \cdot I_{A1} - (R_2 + R_{D2}) \cdot I_{A2} - V_{D2} = 0$

$$\Rightarrow I_{A1} = \frac{(R_2 + R_{D2})}{R_2} \cdot I_{A2} + \frac{V_{D2}}{R_2} \quad (4)$$

Din relațiile 3 și 4 rezultă:

$$I_{A2} = \frac{R_2 \cdot (V_{CC} - V_{D1} - V_{D2}) - (R_1 + R_{D1}) \cdot V_{D2}}{R_2 \cdot R_{D2} + (R_1 + R_{D1}) \cdot (R_2 + R_{D2})} \quad (5)$$

$$\Rightarrow I_{A2} = \frac{2,7[k\Omega] \cdot (10[V] - 0,6[V] - 0,6[V]) - (4,7[k\Omega] + 0,02[k\Omega]) \cdot 0,6[V]}{2,7[k\Omega] \cdot 0,04[k\Omega] + (4,7[k\Omega] + 0,02[k\Omega]) \cdot (2,7[k\Omega] + 0,04[k\Omega])}$$

$$\Rightarrow I_{A2} = \frac{2,7[k\Omega] \cdot 8,8[V] - 4,72[k\Omega] \cdot 0,6[V]}{0,108[k\Omega]^2 + 4,72[k\Omega] \cdot 2,74[k\Omega]}$$

$$\Rightarrow I_{A2} = \frac{23,76 - 2,832}{0,108 + 12,9328} \left[\frac{k\Omega}{k\Omega^2} \cdot V \right] \Rightarrow I_{A2} \cong \frac{20,93}{13,04} \left[\frac{V}{k\Omega} \right] \cong 1,6[mA]$$

$$\Rightarrow I_{A2} = 1,6[mA]$$

$$\Rightarrow I_{A1} = \frac{(2,7[k\Omega] + 0,4[k\Omega]) \cdot 1,28[mA] + 0,6[V]}{2,7[k\Omega]}$$

$$\Rightarrow I_{A1} = \frac{2,74[k\Omega] \cdot 1,6[mA] + 0,6[V]}{2,7[k\Omega]} = \frac{4,384[V] + 0,6[V]}{2,7[k\Omega]} = \frac{4,984[V]}{2,7[k\Omega]} \cong 1,85[mA]$$

$$\Rightarrow I_{A1} = 1,85[mA]$$

Atenție! Curentul prin **R1** nu este **I**, ci **IA1**. Curentul **I** circulă numai prin ramura compusă dintr-un singur element și anume **R2**. Datorită nodurilor de circuit, pe ramura **R1**, **VCC**, **D1** curentul este **IA1**, diferit de **I**.

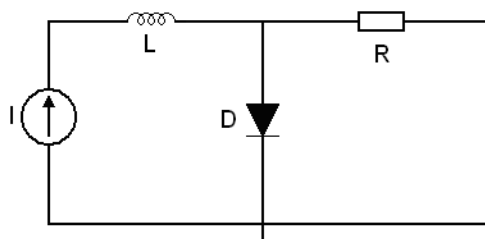
Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

În cazul în care în circuitul cu diode sunt condensatoare și/sau bobine în circuitul de calcul a mărimilor electrice continue trebuie să se țină cont de comportamentul acestora în regim de curent continuu.

Circuitul echivalent de calcul în curent continuu se determină prin modificarea circuitului inițial conform următoarelor reguli:

- Fiecare condensator din circuit se înlocuiește între terminalele sale cu un gol (circuit întrerupt) – se reamintește că în regim de curent continuu, un condensator nu permite trecerea curentului electric prin el și din acest motiv se comportă ca un gol; după înlocuirea condensatorului cu un gol, prin ramura care conține condensatorul respectiv curentul electric se anulează, și din acest motiv, în final se elimină din circuitul întreaga ramură care conține condensatorul.
- Fiecare bobină din circuit se înlocuiește între terminalele sale cu un scurtcircuit (fir) – se reamintește că în regim de curent continuu, o bobină are între terminalele sale o tensiune electrică egală cu 0 volți și din acest motiv aceasta se comportă ca un scurtcircuit.
- Fiecare diodă se înlocuiește cu circuitul echivalent valabil în regim de curent continuu (circuitul utilizat se decide în funcție de regiunea în care funcționează dioda respectivă).

Problema 7. Pentru figura de mai jos se consideră $I = 4[\text{mA}]$, $R = 220[\Omega]$, $C \rightarrow \infty$, $L \rightarrow \infty$. Să se determine valoarea Punctului Static de Funcționare al diodei (valoarea curentului continuu prin diodă și a tensiunii continue pe diodă). Parametrii modelului de curent continuu al diodei sunt: $V_D = 0,6[\text{V}]$, $R_D = 60[\Omega]$.



Rezolvare

În circuit există o sursă de curent continuu I și din acest motiv, circuitul funcționează în regim de curent continuu. Analiza funcționării circuitului în regim de curent continuu și determinarea PSFului diodei D se realizează pe baza circuitului echivalent valabil în regim de curent continuu, obținut pornind de la circuitul inițial și respectând regulile:

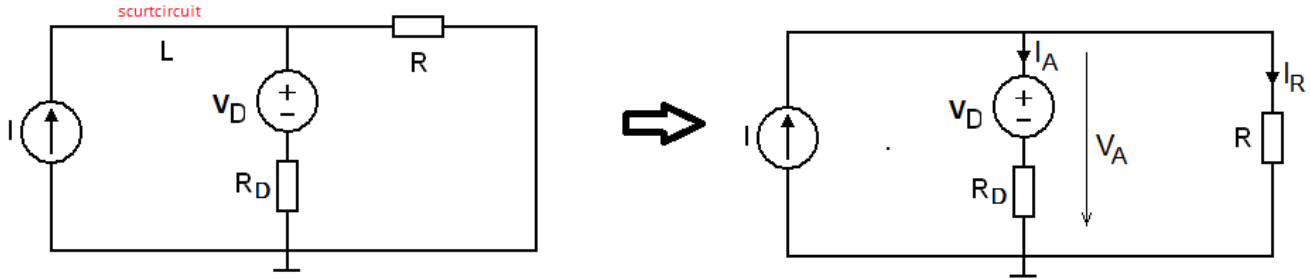
- dioda D se înlocuiește cu circuitul echivalent în regim de curent continuu; în acest sens, mai întâi trebuie stabilită regiunea în care funcționează dioda: pentru circuitul considerat, decizia se ia în funcție de sensul curentului generat de sursa de curent continuu I : deoarece curentul generat de sursă are sensul de la

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

anodul diodei spre catodul acesteia, dioda **D** funcționează în conducție directă și în consecință este înlocuită între anod și catod cu sursa de tensiune V_D și rezistența de curent continuu R_D ;

- bobina se înlocuiește între terminalele sale cu un scurtcircuit.

Modul de aplicare a regulilor enunțate mai sus sunt indicate în figura de mai jos.



Circuitul echivalent în regim de curent continuu

Din circuitul echivalent în regim de curent continuu, dacă se aplică teorema lui Kirkhoff 1 (de curenți) în nodul de circuit în care sunt conectate sursa de curent **I**, dioda **D** și rezistorul **R**, rezultă:

$$I = I_A + I_R$$

Dacă se aplică teorema lui Kirkhoff 2 (de tensiuni) pe bucla de circuit compusă din dioda **D** și rezistorul **R**, rezultă:

$$R \cdot I_R - R_D \cdot I_A - V_D = 0$$

Dar:

$$I_R = I - I_A$$

$$\Rightarrow R \cdot (I - I_A) - R_D \cdot I_A - V_D = 0$$

$$\Rightarrow I_A = \frac{R \cdot I - V_D}{R + R_D} \Rightarrow$$

Curentul continuu prin diodă este:

$$I_A = \frac{0,22[k\Omega] \cdot 4[mA] - 0,6[V]}{0,22[k\Omega] + 0,06[k\Omega]} = \frac{0,88[V] - 0,6[V]}{0,28[k\Omega]} = \frac{0,28[V]}{0,28[k\Omega]} = 1[mA]$$

Tensiunea continuă pe diodă se calculează cu ajutorul relației:

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

$$V_A = R_D \cdot I_A + V_D$$

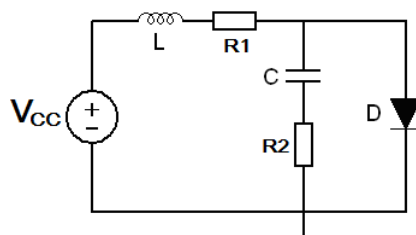
$$\Rightarrow V_A = 0,06[k\Omega] \cdot 4[mA] + 0,6[V] = 0,24[V] + 0,6[V] = 0,84[V]$$

Punctul static de Funcționare al diodei este:

$$I_A = 1[mA], V_A = 0,84[V]$$

Problema 8. Pentru figura de mai jos se consideră $V_{CC} = 5 [V]$, $R_1 = 420[\Omega]$, $R_2 = 100[\Omega]$, $C \rightarrow \infty$, $L \rightarrow \infty$.

1. Să se determine valoarea Punctului Static de Funcționare al diodei **D** pentru care se cunosc rezistența în curent continuu $R_D = 20[\Omega]$ și tensiunea de prag $V_D = 0,6[V]$. 2. Să se calculeze valoarea rezistenței de semnal mic a diodei **D** dacă se consideră că aceasta lucrează la temperatura camerei.



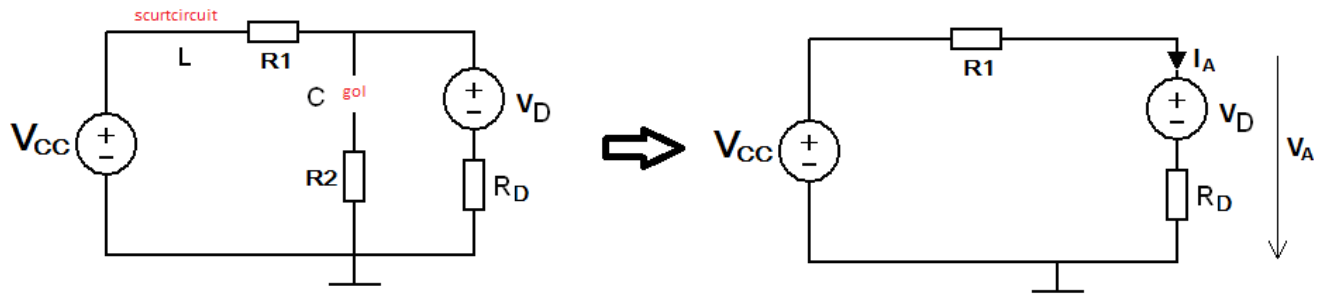
Rezolvare

Circuitul dat, datorită sursei de tensiune continuă V_{CC} funcționează în regim de curent continuu, rolul sursei respective fiind de a polariza dioda (de a stabili regiunea de funcționare a diodei). Determinarea valorii Punctului Static de Funcționare al diodei de realizează în cadrul analizei circuitului în regim de curent continuu. Analiza circuitului în regim de curent continuu se realizează pe baza circuitului echivalent valabil în regim de curent continuu, obținut pornind de la circuitul inițial și respectând regulile:

- dioda **D** se înlocuiește cu circuitul echivalent în regim de curent continuu; în acest sens, mai întâi trebuie stabilită regiunea în care funcționează dioda: pentru circuitul considerat, se observă că borna + a sursei de tensiune continuă V_{CC} se aplică prin **R1** și **L** pe anodul diodei, iar borna – a sursei de tensiune continuă V_{CC} (care stabilește masa circuitului) se aplică pe catodul diodei; din aceste motive, dioda **D** funcționează în regiunea de conducție directă și în consecință este înlocuită între anod și catod cu sursa de tensiune V_D și rezistența de curent continuu R_D ;
- condensatorul se înlocuiește între terminalele sale cu un gol (circuit întrerupt);
- bobina se înlocuiește între terminalele sale cu un scurtcircuit.

Modul de aplicare a regulilor enunțate mai sus sunt indicate în figura de mai jos, în care figura din dreapta reprezintă circuitul echivalent în regim de curent continuu a circuitului inițial. Se observă faptul că, prin introducerea unui gol în circuit, datorită prezenței condensatorului **C**, ramura care conține acest element dispare în circuitul final, deoarece prin acestea nu mai trece curent electric.

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda



Circuitul echivalent în regim de curent continuu

Mărimile electrice care compun PSFul diodei D sunt curentul continuu prin diodă, notat I_A și tensiunea continuă pe diodă, notată V_A .

Curentul prin diodă I_A se determină prin aplicarea teoremei lui Kirchhoff 2 pe bucla de circuit formată; astfel, alegând pentru parcurgerea buclei respective sensul orar, rezultă:

$$R_1 \cdot I_A + V_D + R_D \cdot I_A - V_{CC} = 0$$

$$\Rightarrow I_A = \frac{V_{CC} - V_D}{R_1 + R_D}$$

$$\Rightarrow I_A = \frac{5[V] - 0,6[V]}{0,42[k\Omega] + 0,02[k\Omega]} = \frac{4,4[V]}{0,44[k\Omega]} = 10[mA] \quad I_A = 10[mA]$$

Tensiunea pe diodă V_A reprezintă căderea de tensiune pe lamentele V_D și R_D ale modelului diodei și se determină cu relația:

$$V_A = V_D + R_D \cdot I_A$$

$$\Rightarrow V_A = 0,6[V] + 10[mA] \cdot 0,02[k\Omega] = 0,6[V] + 0,2[V] = 0,8[V] \quad V_A = 0,8[V]$$

2. Calculul rezistenței de semnal mic a diodei se realizează pe baza relației

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

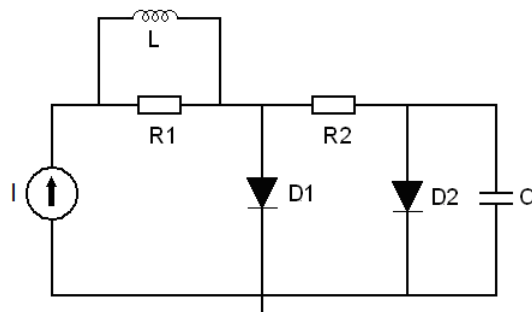
unde I_A reprezintă valoarea curentului continuu prin diodă, care este egal cu **10[mA]**, iar V_T este tensiunea termică, care, la temperatura camerei se consideră că este egală cu **25[mV]**.

$$\Rightarrow r_d = \frac{25[mV]}{10[mA]} = 2,5[\Omega] \quad r_d = 2,5[\Omega]$$

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

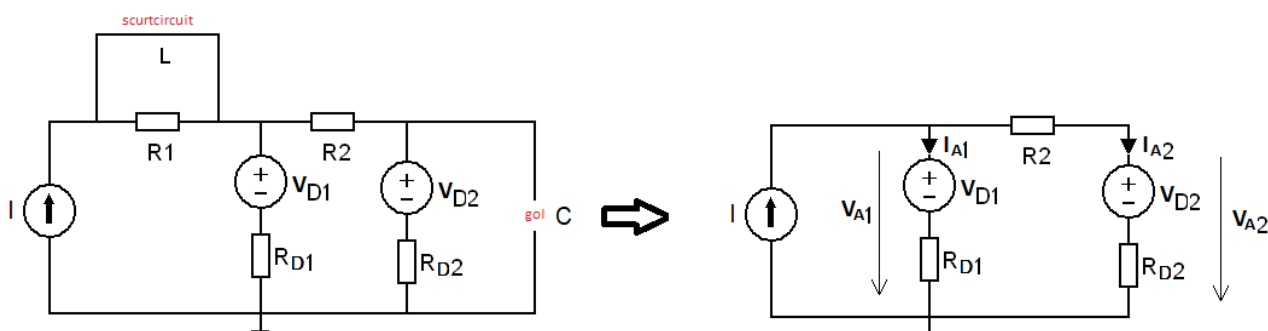
Problema 9. Pentru figura de mai jos se consideră $I = 10 \text{ [mA]}$, $R_1 = 680[\Omega]$, $R_2 = 160[\Omega]$, $C \rightarrow \infty$, $L \rightarrow \infty$.

1. Să se determine valoarea Punctului Static de Funcționare al diodelor **D1** și **D2** pentru care se cunosc rezistențele în curent continuu $R_{D1} = 25[\Omega]$ și $R_{D2} = 15[\Omega]$ și tensiunile de prag $V_{D1} = V_{D2} = 0,6[\text{V}]$. 2. Să se calculeze valorile rezistențelor de semnal mic ale diodelor, dacă se consideră că acestea lucrează la temperatura camerei.



Rezolvare

Circuitul de calcul al Punctului Static de Funcționare al diodelor, obținut conform regulilor prezentate anterior, este indicat mai jos.



Circuitul echivalent în regim de curent continuu

În circuitul de calcul, rezistorul **R1** devine conectat în paralel cu un scurtcircuit (generat de către bobina L) și din acest motiv, rezistența echivalentă a grupării paralel R1-scurtcircuit este 0 ohmi. Din acest motiv, în final, gruparea respectivă este înlocuită cu un fir (scurtcircuit), care conectează direct generatorul de curent **I** la dioda D1 și rezistorul R2.

Temă: calculele pentru cerințele problemei

Soluție:

$$1. I_{A1} = 1,25[mA] \quad V_{A1} = 0,63125[V] \quad I_{A2} = 8,75[mA] \quad V_{A2} = 0,73125[V]$$

$$2. r_{d1} = 20[\Omega] \quad r_{d2} = 2,85[\Omega]$$

Partea III. Analiza circuitelor cu diode în diferite regimuri de funcționare

În cazul în care într-un circuit electronic sunt prezente atât surse de tensiune sau curent continuu cât și surse de tensiune sau curent variabil, funcționarea circuitului se poate analiza atât în regim de curent continuu, cât și în regim variabil.

Analiza circuitului în regim de curent continuu permite determinarea valorilor mărimilor electrice continue ale circuitului: tensiuni continue, respectiv curenți continui;

Analiza circuitului în regim variabil permite determinarea valorilor mărimilor electrice variabile ale circuitului: tensiuni variabile, respectiv curenți variabili; acest tip de analiză permite determinarea parametrilor mărimilor variabile: amplitudine și fază.

Analiza în regim de curent continuu se realizează pe baza unui circuit echivalent de calcul, care modelează comportamentul circuitului inițial în regim de curent continuu. Circuitul echivalent în curent continuu se determină din circuitul inițial, la care se aplică următoarele reguli:

- Fiecare sursă independentă variabilă se PASIVIZEAZĂ (sursele de tensiune se înlocuiesc între borne cu un scurtcircuit, iar sursele de curent se înlocuiesc între borne cu un gol);
- Fiecare condensator din circuit se înlocuiește între terminalele sale cu un gol (circuit întrerupt) – se reamintește că în curent continuu, un condensator are reactanța X_C infinită, și din acest motiv el se comportă ca un gol; după înlocuirea condensatorului cu un gol, prin ramura care conține condensatorul respectiv curentul electric se anulează, și din acest motiv, în final se elimină din circuitul întreaga ramură care conține condensatorul.
- Fiecare bobină din circuit se înlocuiește între terminalele sale cu un scurtcircuit (fir) – se reamintește că în curent continuu, o bobină are reactanța X_L zero, și din acest motiv se comportă în acest caz ca un scurtcircuit.
- Fiecare diodă se înlocuiește cu circuitul echivalent valabil în regim de curent continuu (circuitul utilizat se decide în funcție de regiunea în care funcționează dioda respectivă).

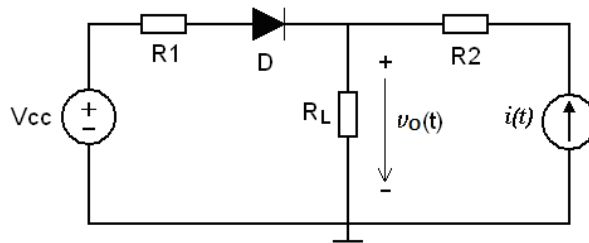
Analiza în regim de variabil de semnal mic se realizează pe baza unui circuit echivalent de calcul, care modelează comportamentul circuitului inițial în regim variabil de semnal mic. Circuitul echivalent în regim variabil de semnal mic se determină din circuitul inițial, la care se aplică următoarele reguli:

- Fiecare sursă independentă continuă (dacă există în circuitul inițial) se PASIVIZEAZĂ (sursele de tensiune se înlocuiesc între borne cu un scurtcircuit, iar sursele de curent se înlocuiesc între borne cu un gol);
- Fiecare condensator de capacitate electrică mare (când se consideră $C \rightarrow \infty$) din circuit se înlocuiește între terminalele sale cu un scurtcircuit (fir) – se reamintește că în regim variabil, un condensator de capacitate mare are reactanța X_C zero, și din acest motiv el se comportă în acest caz ca un scurtcircuit;

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

- Fiecare bobină de inductanță magnetică mare (când se consideră $L \rightarrow \infty$) din circuit se înlocuiește între terminalele sale cu un gol (circuit întrerupt) – se reamintește că în regim variabil, o bobină cu inductanță magnetică mare are reactanța X_L infinită, și din acest motiv se comportă ca un gol; după înlocuirea bobinei cu un gol, prin ramura care conține bobina respectivă curentul electric se anulează, și din acest motiv, în final se elimină din circuitul întreaga ramură care conține bobina.
- Fiecare diodă din circuit se înlocuiește cu circuitul echivalent valabil în regim variabil de semnal mic.

Problema 10. Pentru figura de mai jos se consideră $V_{CC} = 1[V]$, $R_1 = 100[\Omega]$, $R_2 = 1[k\Omega]$, $R_L = 1[k\Omega]$, $i(t) = 1 \cdot \sin(t)[mA]$. Să se determine valoarea amplitudinii tensiunii notate $v_o(t)$ dacă se presupune că dioda **D** funcționează în regim variabil de semnal mic, la temperatura $T=25^{\circ}C$; la finalul problemei, să se verifice dacă dioda lucrează în regim variabil de semnal mic. Pentru diodă, se consideră că rezistența de curent continuu a diodei este $R_D = 200[\Omega]$.



Rezolvare

În circuit există o sursă de tensiune continuă V_{CC} și o sursă de curent variabil $i(t)$. Din acest motiv, circuitul funcționează atât în regim de curent continuu (datorat sursei V_{CC}) cât și în regim variabil (datorat sursei $i(t)$). Amplitudinea tensiunii $v_o(t)$ reprezintă o mărime de regim variabil și din acest motiv este necesar ca acesta să fie calculată în cadrul analizei în regim variabil a circuitului. Dacă se presupune că dioda funcționează în regim variabil de semnal mic, atunci rezultă că, în cadrul analizei în regim variabil, pentru diodă se utilizează circuitul echivalent de semnal mic, compus din rezistența de semnal mic a diodei, notată r_d :

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

unde I_A reprezintă valoarea curentului continuu prin diodă, iar V_T este tensiunea termică. După cum se observă, pentru determinarea valorii rezistenței de semnal mic a diodei r_d este necesar curentul continuu I_A prin dioda respectivă. Valoarea acestui curent electric se determină în cadrul analizei în curent continuu a circuitului.

În concluzie, pentru determinarea amplitudinii tensiunii $v_o(t)$ trebuie parcurși următorii pași:

1. Se realizează analiza circuitului în regim de curent continuu și se calculează curentul continuu prin diodă, notat I_A ;
2. Se calculează valoarea rezistenței de semnal mic a diodei, r_d ;

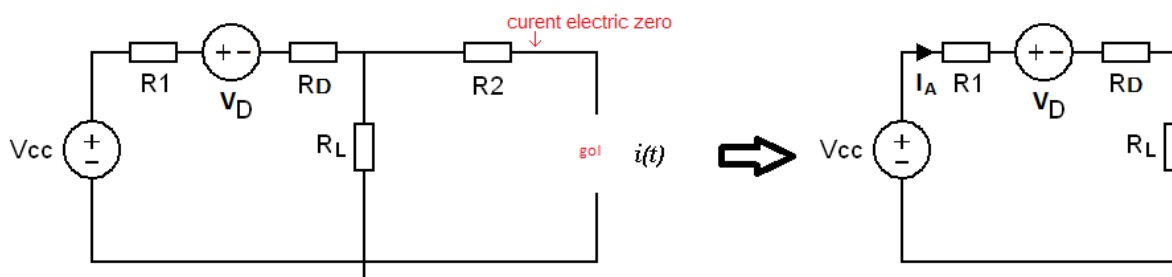
Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

- Se realizează analiza circuitului în regim de curent continuu variabil de semnal mic și se calculează amplitudinea tensiunii $v_O(t)$, notată V_O ;

1. Analiza circuitului în regim de curent continuu și determinarea curentului continuu prin dioda **D** se realizează pe baza circuitului echivalent valabil în regim de curent continuu, obținut pornind de la circuitul inițial și respectând regulile:

- dioda **D** se înlocuiește cu circuitul echivalent în regim de curent continuu; în acest sens, mai întâi trebuie stabilită regiunea în care funcționează dioda: pentru circuitul considerat, se observă că borna + a sursei de tensiune continuă V_{CC} se aplică prin **R1** pe anodul diodei, iar borna – a sursei de tensiune continuă V_{CC} se aplică pe catodul diodei; din aceste motive, dioda **D** funcționează în regiunea de conducție directă și în consecință este înlocuită între anod și catod cu sursa de tensiune V_D și rezistența de curent continuu R_D ; deoarece pentru V_D nu s-a furnizat nicio altă valoare, se consideră $V_D = 0,6[V]$.
- se pasivizează sursa de curent variabil $i(t)$: în cazul surselor de curent electric, prin pasivizare acestea se înlocuiesc între borne cu un gol;

Modul de aplicare a regulilor enunțate mai sus sunt indicate în figura de mai jos, în care figura din dreapta reprezintă circuitul echivalent în regim de curent continuu a circuitului inițial. Se observă faptul că, prin introducerea unui gol în circuit, datorită pasivizării sursei de curent $i(t)$, prin ramura care conține **R2** nu mai trece curent, și în consecință ramura cu **R2** este eliminată în final.



Circuitul echivalent în regim de curent continuu

Curentul prin diodă, notat I_A , se calculează prin aplicarea teoremei lui Kirchhoff 2 pe bucla de circuit compusă din toate elementele circuitului. Alegând pentru parcurgerea buclei respective sensul orar, rezultă:

$$R_1 \cdot I_A + V_D + R_D \cdot I_A + R_L \cdot I_A - V_{CC} = 0$$

$$\Rightarrow I_A = \frac{V_{CC} - V_D}{R_1 + R_D + R_L}$$

$$\Rightarrow I_A = \frac{1[V] - 0,6[V]}{0,1[k\Omega] + 0,2[k\Omega] + 0,1[k\Omega]} = \frac{0,4[V]}{0,4[k\Omega]} = 1[mA]$$

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

$$I_A = 1[\text{mA}]$$

2. Calculul rezistenței de semnal mic a diodei se realizează pe baza relației

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

unde I_A reprezintă valoarea curentului continuu prin diodă, care este egal cu $1[\text{mA}]$, iar V_T este tensiunea termică, care, la temperatura $T=25^\circ\text{C}$ se consideră că este egală cu $25[\text{mV}]$.

$$\Rightarrow r_d = \frac{25[\text{mV}]}{1[\text{mA}]} = 25[\Omega]$$

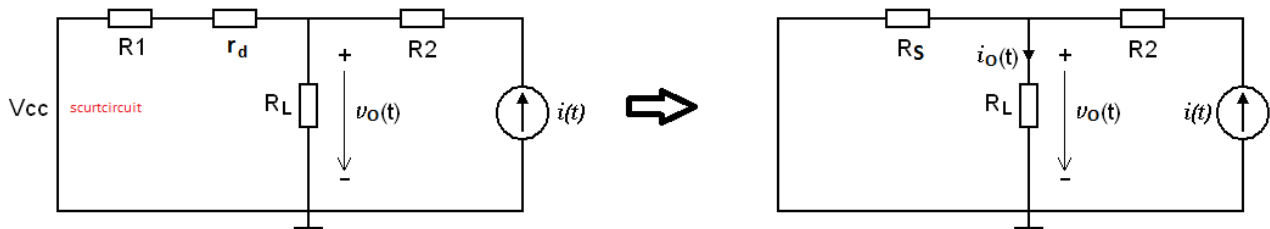
$$r_d = 25[\Omega]$$

3. Analiza circuitului în regim variabil de semnal mic și determinarea amplitudinii V_o a tensiunii $v_o(t)$ se realizează pe baza circuitului echivalent valabil în regim variabil de semnal mic, obținut pornind de la circuitul inițial și respectând regulile:

- dioda **D** se înlocuiește cu rezistența de semnal mic r_d ;
- se pasivizează sursa de tensiune continuă V_{CC} : în cazul surselor de tensiune, prin pasivizare acestea se înlocuiesc între borne cu un scurtcircuit (fir);

Modul de aplicare a regulilor enunțate mai sus sunt indicate în figura de mai jos, în care figura din dreapta reprezintă circuitul echivalent în regim variabil de semnal mic a circuitului inițial, în care, prin R_S s-a considerat rezistența echivalentă a grupării serie **R1** și r_d :

$$R_S = R_1 + r_d$$



Circuitul echivalent în regim variabil de semnal mic

În circuitul echivalent, elementele R_S și R_L sunt conectate în paralel. Din acest motiv, curentul $i(t)$ se divizează pe ramurile R_S și R_L (conform teoremei lui Kirchhoff 1), deci circuitul reprezintă un divizor de curent pentru curentul $i(t)$. Astfel, curentul $i_o(t)$ se poate determina cu relația divizorului de curent:

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

$$i_O(t) = \frac{R_S}{R_S + R_L} \cdot i(t)$$

Tensiunea $v_O(t)$ se poate determina cu legea lui Ohm:

$$v_O(t) = R_L \cdot i_O(t)$$

Din ultimile 2 relații rezultă relația de calcul a tensiunii $v_O(t)$:

$$v_O(t) = R_L \cdot \frac{R_S}{R_S + R_L} \cdot i(t) = \frac{R_L \cdot (R_1 + r_d)}{R_1 + r_d + R_L} \cdot i(t)$$

$$v_O(t) = \frac{R_L \cdot (R_1 + r_d)}{R_1 + r_d + R_L} \cdot i(t)$$

$$\Rightarrow v_O(t) = \frac{0,1[k\Omega] \cdot (0,1[k\Omega] + 0,025[k\Omega])}{0,1[k\Omega] + 0,025[k\Omega] + 1[k\Omega]} \cdot 1 \cdot \sin(t)[mA] = \frac{0,1[k\Omega] \cdot 0,125[k\Omega]}{1,125[k\Omega]} \cdot 1 \cdot \sin(t)[mA]$$

$$\Rightarrow v_O(t) = \frac{0,0125}{1,125} [k\Omega] \cdot 1 \cdot \sin(t)[mA] \cong 0,011 \cdot \sin(t)[V]$$

$$\Rightarrow v_O(t) = \underbrace{0,011}_{\text{amplitudine}} \cdot \sin(t)[V]$$

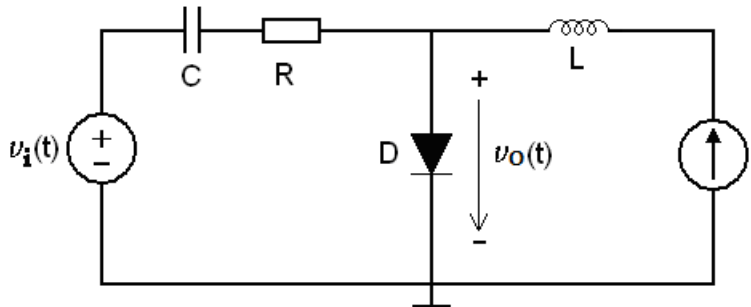
$$\Rightarrow V_o = 11[mV]$$

Deoarece R_S și R_L sunt conectate în paralel, iar tensiunea v_O care cade și pe R_S , de unde rezultă că pe dioda D căderea de tensiune este mai mică decât v_O , deci amplitudinea tensiunii care cade pe D este mai mică decât **11[mV]**; astfel, este satisfăcută pentru diodă condiția de semnal mic, deci presupunerea că aceasta funcționează în regim variabil de semnal mic este corectă.

Observație: valoare **R2** nu este implicată în niciun calcul, deci nu contează valoarea respectivă. Rezistorul R2 a fost introdus în schema electronică pentru a exemplifica efectul pasivizării sursei de curent electric asupra ramurii în care aceasta este conectată.

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

Problema 11. Pentru figura de mai jos se consideră $I = 2,5[\text{mA}]$, $R = 100[\Omega]$, $C \rightarrow \infty$, $L \rightarrow \infty$, $v_I(t) = 100 \cdot \sin(t)[\text{mV}]$. Să se determine valoarea amplitudinii tensiunii notate $v_O(t)$ dacă se presupune că dioda **D** funcționează în regim variabil de semnal mic, la temperatura $T=25^\circ\text{C}$; la finalul problemei, să se verifice dacă dioda lucrează în regim variabil de semnal mic.



Rezolvare

În circuit există o sursă de curent continuu I și o sursă de tensiune variabilă $v_I(t)$. Din aceste motive, circuitul funcționează atât în regim de curent continuu (datorat sursei I) cât și în regim variabil (datorat sursei $v_I(t)$). Deoarece amplitudinea tensiunii $v_O(t)$ reprezintă o mărime de regim variabil, așa cum s-a explicat și în problema 7, pentru determinarea valorii acesteia trebuie parcurși următorii pași:

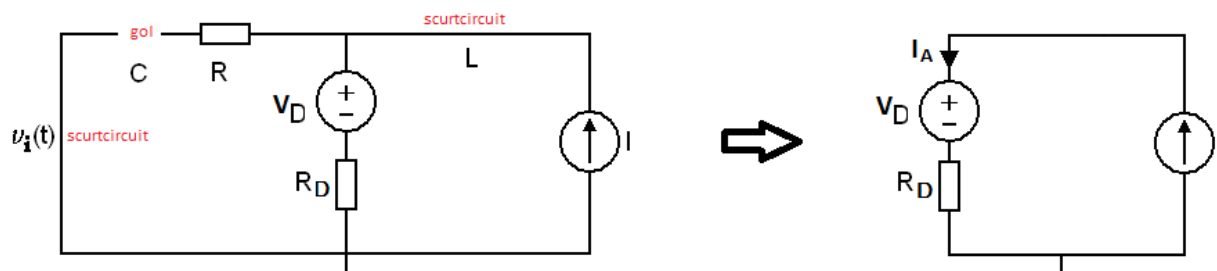
1. Se realizează analiza circuitului în regim de curent continuu și se calculează curentul continuu prin diodă, notat I_A ;
2. Se calculează valoarea rezistenței de semnal mic a diodei, r_d ;
3. Se realizează analiza circuitului în regim variabil de semnal mic și se calculează amplitudinea tensiunii $v_O(t)$, notată V_o ;

1. Analiza circuitului în regim de curent continuu și determinarea curentului continuu prin dioda **D** se realizează pe baza circuitului echivalent valabil în regim de curent continuu, obținut pornind de la circuitul inițial și respectând regulile:

- dioda **D** se înlocuiește cu circuitul echivalent în regim de curent continuu; în acest sens, mai întâi trebuie stabilită regiunea în care funcționează dioda: pentru circuitul considerat, decizia se ia în funcție de sensul curentului generat de sursa de curent continuu I : deoarece curentul generat de sursă are sensul de la anodul diodei spre catodul acesteia, dioda **D** funcționează în regiunea de conducție directă și în consecință este înlocuită între anod și catod cu sursa de tensiune V_D și rezistența de curent continuu R_D ;
- se pasivizează sursa de tensiune variabilă $v_I(t)$: în cazul surselor de tensiune, prin pasivizare acestea se înlocuiesc între borne cu un scurtcircuit;
- condensatorul se înlocuiește între terminalele sale cu un gol;
- bobina se înlocuiește între terminalele sale cu un scurtcircuit.

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

Modul de aplicare a regulilor enunțate mai sus sunt indicate în figura de mai jos, în care figura din dreapta reprezintă circuitul echivalent în regim de curent continuu a circuitului inițial. Se observă faptul că, prin introducerea unui gol în circuit, datorită prezenței condensatorului **C**, prin ramura care conține **R** nu mai trece curent, și în consecință ramura cu **R** este eliminată în final.



Circuitul echivalent în regim de curent continuu

Din circuitul echivalent în regim de curent continuu, se observă că valoarea curentului prin diodă, notat I_A , este egală cu valoarea curentului generat de sursa de cunret continuu **I**, rezultă:

$$I_A = I \quad \Rightarrow \quad I_A = 2,5[mA]$$

2. Calculul rezistenței de semnal mic a diodei se realizează pe baza relației

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

unde I_A reprezintă valoarea curentului continuu prin diodă, care este egal cu **2,5[mA]**, iar V_T este tensiunea termică, care, la temperatura $T=25^0C$ se consideră că este egală cu **25[mV]**.

$$\Rightarrow \quad r_d = \frac{25[mV]}{2,5[mA]} = 10[\Omega]$$

$$r_d = 10[\Omega]$$

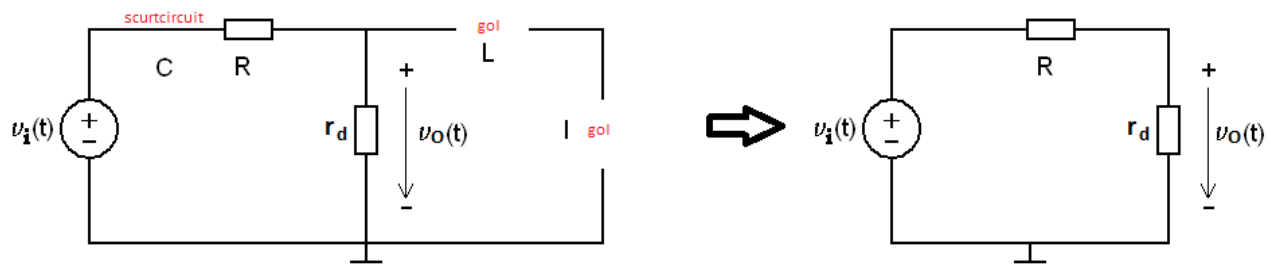
3. Analiza circuitului în regim variabil de semnal mic și determinarea amplitudinii V_o a tensiunii $v_o(t)$ se realizează pe baza circuitului echivalent valabil în regim variabil de semnal mic, obținut pornind de la circuitul inițial și respectând regulile:

- dioda **D** se înlocuiește cu rezistența de semnal mic r_d ;
- se pasivizează sursa de curent continuu **I**: în cazul surselor de curent, prin pasivizare acestea se înlocuiesc între borne cu un gol (circuit întrerupt);
- condensatorul se înlocuiește între terminalele sale cu un scurtcircuit;

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

- bobina se înlocuiește între terminalele sale cu un gol.

Modul de aplicare a regulilor enunțate mai sus sunt indicate în figura de mai jos, în care figura din dreapta reprezintă circuitul echivalent în regim variabil de semnal mic a circuitului inițial:



Circuitul echivalent în regim variabil de semnal mic

Circuitul echivalent în regim variabil de semnal mic reprezintă un divizor de tensiune: tensiunea $v_i(t)$ se divide pe elementele conectate în serie R și r_d , rezultă:

$$v_O(t) = \frac{r_d}{R + r_d} \cdot v_I(t)$$

\Rightarrow

$$v_O(t) = \frac{10[\Omega]}{100[\Omega] + 10[\Omega]} \cdot 100 \cdot \sin(t)[mV] = \frac{10}{110} \cdot 100 \cdot \sin(t)[mV] \cong \underset{\text{amplitudine}}{9,09} \cdot \sin(t)[mV]$$

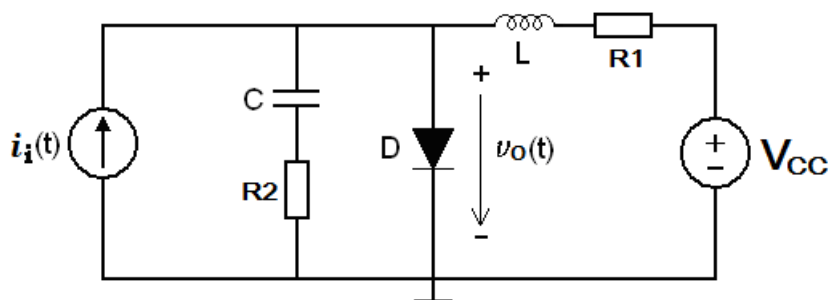
\Rightarrow

$$V_o = 9,09[mV]$$

Deoarece amplitudinea pe diodă, care este V_o este mai mică decât **12,5[mV]**, rezultă că dioda funcționează în regim variabil de semnal mic.

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

Problema 12. Pentru figura de mai jos se consideră $V_{CC} = 5 \text{ [V]}$, $R_1 = 680[\Omega]$, $R_2 = 100[\Omega]$, $C \rightarrow \infty$, $L \rightarrow \infty$, $i_i(t) = 2 \cdot \sin(t) \text{ [mA]}$. Să se determine valoarea amplitudinii tensiunii notate $v_o(t)$ dacă se presupune că dioda **D** funcționează în regim variabil de semnal mic, la temperatura $T=25^\circ\text{C}$; la finalul problemei, să se verifice dacă dioda lucrează în regim variabil de semnal mic. Pentru diodă, se cunosc rezistența în curent continuu $R_D = 200[\Omega]$ și tensiunea de prag $V_D = 0,6 \text{ [V]}$.



Rezolvare

În circuit există o sursă de tensiune continuă V_{CC} și o sursă de curent variabil $i_i(t)$. Din aceste motive, circuitul funcționează atât în regim de curent continuu (datorat sursei V_{CC}) cât și în regim variabil (datorat sursei $i_i(t)$). Deoarece amplitudinea tensiunii $v_o(t)$ reprezintă o mărime de regim variabil, așa cum s-a explicat și în problema 7, pentru determinarea valorii acesteia trebuie parcurși următorii pași:

4. Se realizează analiza circuitului în regim de curent continuu și se calculează curentul continuu prin diodă, notat I_A ;
5. Se calculează valoarea rezistenței de semnal mic a diodei, r_d ;
6. Se realizează analiza circuitului în regim variabil de semnal mic și se calculează amplitudinea tensiunii $v_o(t)$, notată V_o ;

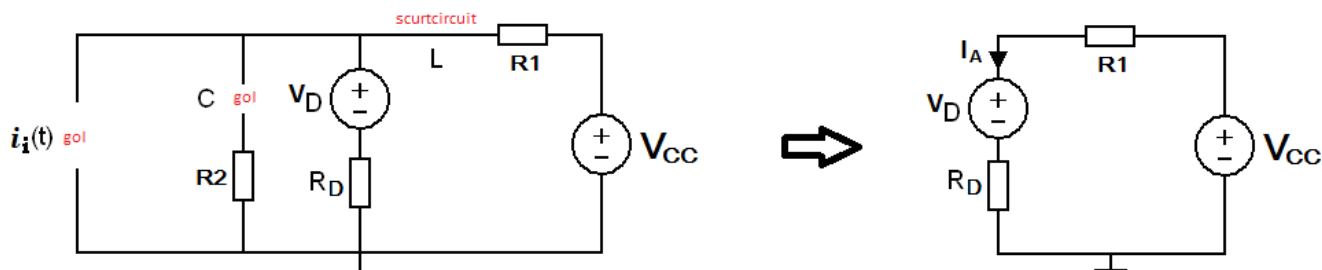
1. Analiza circuitului în regim de curent continuu și determinarea curentului continuu prin dioda **D** se realizează pe baza circuitului echivalent valabil în regim de curent continuu, obținut pornind de la circuitul inițial și respectând regulile:

- dioda **D** se înlocuiește cu circuitul echivalent în regim de curent continuu; în acest sens, mai întâi trebuie stabilită regiunea în care funcționează dioda: pentru circuitul considerat, se observă că borna + a sursei de tensiune continuă V_{CC} se aplică prin **R1** și **L** pe anodul diodei, iar borna – a sursei de tensiune continuă V_{CC} se aplică pe catodul diodei; din aceste motive, dioda **D** funcționează în regiunea de conducție directă și în consecință este înlocuită între anod și catod cu sursa de tensiune V_D și rezistența de curent continuu R_D ;
- se pasivizează sursa de curent variabil $i_i(t)$: în cazul surselor de curent, prin pasivizare acestea se înlocuiesc între borne cu un gol (circuit întrerupt);

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

- condensatorul se înlocuiește între terminalele sale cu un gol (circuit întrerupt);
- bobina se înlocuiește între terminalele sale cu un scurtcircuit.

Modul de aplicare a regulilor enunțate mai sus sunt indicate în figura de mai jos, în care figura din dreapta reprezintă circuitul echivalent în regim de curent continuu a circuitului inițial. Se observă faptul că, prin introducerea unor goluri în circuit, datorită prezenței sursei de curent $i_i(t)$ și a condensatorului C , ramurile care conțin aceste elemente dispar în circuitul final, deoarece prin acestea nu mai trece curent electric.



Circuitul echivalent în regim de curent continuu

Curentul prin diodă, notat I_A , se determină prin aplicarea teoremei lui Kirchhoff 2 pe bucla de circuit formată; astfel, alegând pentru parcurgerea buclei respective sensul antiorar, rezultă:

$$V_D + R_D \cdot I_A - V_{CC} + R_1 \cdot I_A = 0$$

$$\Rightarrow I_A = \frac{V_{CC} - V_D}{R_1 + R_D}$$

$$\Rightarrow I_A = \frac{5[V] - 0,6[V]}{0,68[k\Omega] + 0,2[k\Omega]} = \frac{4,4[V]}{0,88[k\Omega]} = 5[mA]$$

$$I_A = 5[mA]$$

2. Calculul rezistenței de semnal mic a diodei se realizează pe baza relației

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

unde I_A reprezintă valoarea curentului continuu prin diodă, care este egal cu **5[mA]**, iar V_T este tensiunea termică, care, la temperatura $T=25^{\circ}C$ se consideră că este egală cu **25[mV]**.

$$\Rightarrow r_d = \frac{25[mV]}{5[mA]} = 5[\Omega]$$

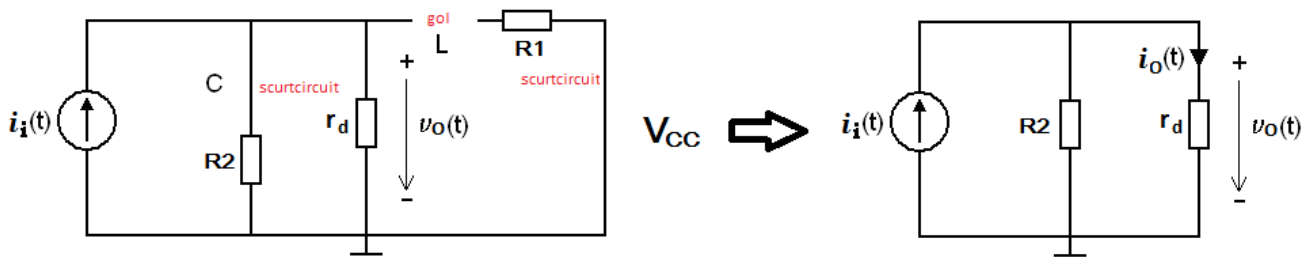
$$r_d = 5[\Omega]$$

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

3. Analiza circuitului în regim variabil de semnal mic și determinarea amplitudinii V_o a tensiunii $v_o(t)$ se realizează pe baza circuitului echivalent valabil în regim variabil de semnal mic, obținut pornind de la circuitul inițial și respectând regulile:

- dioda **D** se înlocuiește cu rezistența de semnal mic r_d ;
- se pasivizează sursa de tensiune continuă V_{CC} : în cazul surselor de tensiune, prin pasivizare acestea se înlocuiesc între borne cu un scurtcircuit (fir);
- condensatorul se înlocuiește între terminalele sale cu un scurtcircuit;
- bobina se înlocuiește cu un gol.

Modul de aplicare a regulilor enunțate mai sus sunt indicate în figura de mai jos, în care figura din dreapta reprezintă circuitul echivalent în regim variabil de semnal mic a circuitului inițial:



Circuitul echivalent în regim variabil de semnal mic

Circuitul echivalent în regim variabil de semnal mic reprezintă un divizor de curent: curentul $i_i(t)$ se divide pe elementele conectate în paralel R_2 și r_d , rezultă:

$$i_O(t) = \frac{R_2}{R_2 + r_d} \cdot i_I(t)$$

⇒

Tensiunea $v_o(t)$ se determină aplicând legea lui Ohm pe rezistența de semnal mic r_d :

$$v_O(t) = r_d \cdot i_O(t)$$

⇒

$$v_O(t) = r_d \cdot \frac{R_2}{R_2 + r_d} \cdot i_I(t)$$

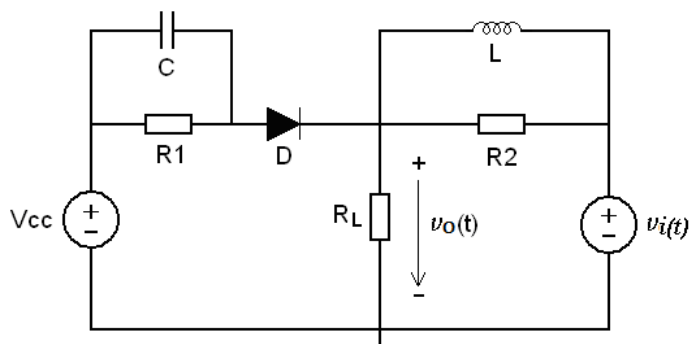
$$v_O(t) = 5[\Omega] \cdot \frac{100[\Omega]}{100[\Omega] + 5[\Omega]} \cdot 2 \cdot \sin(t)[mA] = \frac{500}{105} \left[\frac{\Omega^2}{\Omega} \right] \cdot 2 \cdot \sin(t)[mA] \cong \underset{\text{amplitudine}}{9,52} \cdot \sin(t)[mV]$$

$$V_o = 9,52[mV]$$

Deoarece amplitudinea pe diodă, care este V_o este mai mică decât **12,5[mV]**, rezultă că dioda funcționează în regim variabil de semnal mic.

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

Problema 10. Pentru figura de mai jos se consideră $V_{CC} = 5 \text{ [V]}$, $R_1 = 680[\Omega]$, $R_2 = 50[\Omega]$, $R_L = 50[\Omega]$, $C \rightarrow \infty$, $L \rightarrow \infty$, $v_i(t) = 100 \cdot \sin(t) \text{ [mV]}$. Să se determine valoarea amplitudinii tensiunii notate $v_o(t)$ dacă se presupune că dioda **D** funcționează în regim variabil de semnal mic, la temperatura $T=25^\circ\text{C}$; la finalul problemei, să se verifice dacă dioda lucrează în regim variabil de semnal mic. Pentru diodă, se cunosc rezistența în curent continuu $R_D = 200[\Omega]$ și tensiunea de prag $V_D = 0,6 \text{ [V]}$.



Rezolvare

În circuit există o sursă de tensiune continuă V_{CC} și o sursă de tensiune variabilă $v_i(t)$. Din aceste motive, circuitul funcționează atât în regim de curent continuu (datorat sursei V_{CC}) cât și în regim variabil (datorat sursei $v_i(t)$). Deoarece amplitudinea tensiunii $v_o(t)$ reprezintă o mărime de regim variabil, așa cum s-a explicat și în problema 7, pentru determinarea valorii acesteia trebuie parcurși următorii pași:

7. Se realizează analiza circuitului în regim de curent continuu și se calculează curentul continuu prin diodă, notat I_A ;
8. Se calculează valoarea rezistenței de semnal mic a diodei, r_d ;
9. Se realizează analiza circuitului în regim variabil de semnal mic și se calculează amplitudinea tensiunii $v_o(t)$, notată V_o ;

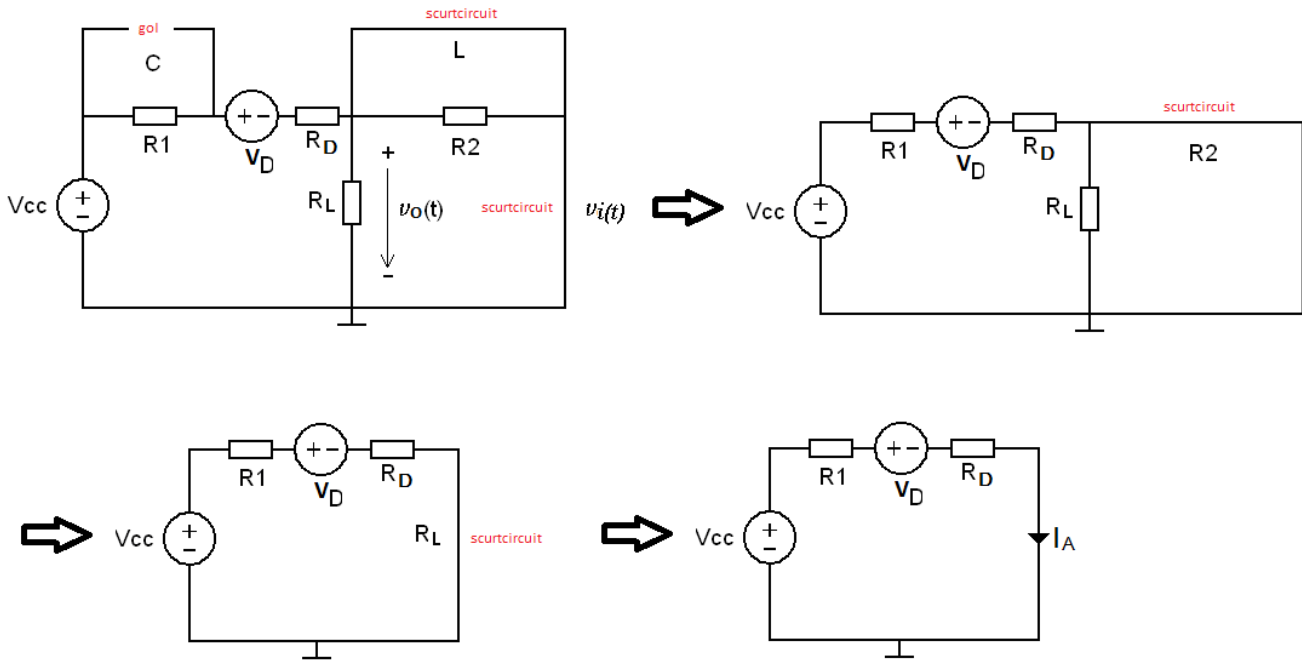
1. Analiza circuitului în regim de curent continuu și determinarea curentului continuu prin dioda **D** se realizează pe baza circuitului echivalent valabil în regim de curent continuu, obținut pornind de la circuitul inițial și respectând regulile:

- dioda **D** se înlocuiește cu circuitul echivalent în regim de curent continuu; în acest sens, mai întâi trebuie stabilită regiunea în care funcționează dioda: pentru circuitul considerat, se observă că borna + a sursei de tensiune continuă V_{CC} se aplică prin **R1** pe anodul diodei, iar borna – a sursei de tensiune continuă V_{CC} se aplică pe catodul diodei prin **RL**; din aceste motive, dioda **D** funcționează în regiunea de conducție directă și în consecință este înlocuită între anod și catod cu sursa de tensiune V_D și rezistența de curent continuu R_D ;

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

- se pasivizează sursa de tensiune variabilă $v_I(t)$: în cazul surselor de tensiune, prin pasivizare acestea se înlocuiesc între borne cu un scurtcircuit (gol);
- condensatorul se înlocuiește între terminalele sale cu un gol (circuit întrerupt);
- bobina se înlocuiește între terminalele sale cu un scurtcircuit.

Modul de aplicare a regulilor enunțate mai sus sunt indicate în figura de mai jos, în care figura din dreapta reprezintă circuitul echivalent în regim de curent continuu a circuitului inițial. Se observă faptul că, prin introducerea unor scurtcircuite în circuit, datorită bobinei L și prin pasivizarea sursei de tensiune $v_I(t)$, și alte elemente de circuit devin scurtcircuitate: R_2 este scurtcircuitat de L , iar R_L este scurtcircuitat de L și $v_I(t)$:



Circuitul echivalent în regim de curent continuu

Curentul prin diodă, notat I_A , se determină prin aplicarea teoremei lui Kirchhoff 2 pe bucla de circuit formată; astfel, alegând pentru parcurgerea buclei respective sensul antiorar, rezultă:

$$R_1 \cdot I_A + V_D + R_D \cdot I_A - V_{CC} = 0$$

$$\Rightarrow I_A = \frac{V_{CC} - V_D}{R_1 + R_D}$$

$$\Rightarrow I_A = \frac{5[V] - 0,6[V]}{0,68[k\Omega] + 0,2[k\Omega]} = \frac{4,4[V]}{0,88[k\Omega]} = 5[mA]$$

$$I_A = 5[mA]$$

2. Calculul rezistenței de semnal mic a diodei se realizează pe baza relației

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

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

unde I_A reprezintă valoarea curentului continuu prin diodă, care este egal cu **5[mA]**, iar V_T este tensiunea termică, care, la temperatura $T=25^{\circ}\text{C}$ se consideră că este egală cu **25[mV]**.

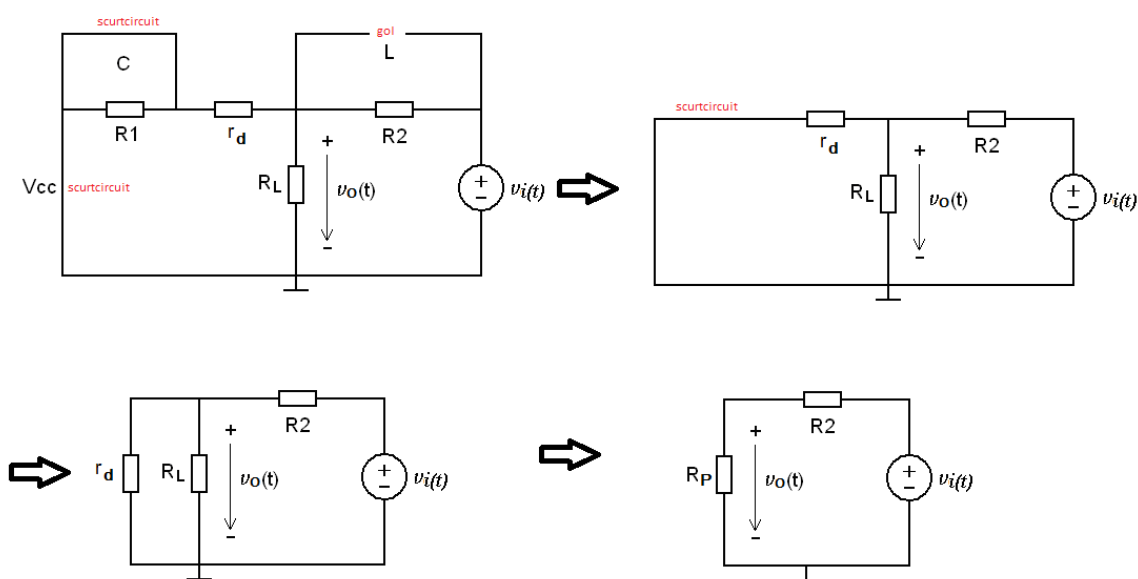
$$\Rightarrow r_d = \frac{25[mV]}{5[mA]} = 5[\Omega] \quad r_d = 5[\Omega]$$

3. Analiza circuitului în regim variabil de semnal mic și determinarea amplitudinii V_o a tensiunii $v_o(t)$ se realizează pe baza circuitului echivalent valabil în regim variabil de semnal mic, obținut pornind de la circuitul inițial și respectând regulile:

- dioda **D** se înlocuiește cu rezistența de semnal mic r_d ;
- se pasivizează sursa de tensiune continuă V_{CC} : în cazul surselor de tensiune, prin pasivizare acestea se înlocuiesc între borne cu un scurtcircuit (fir);
- condensatorul se înlocuiește între terminalele sale cu un scurtcircuit;
- bobina se înlocuiește cu un gol.

Modul de aplicare a regulilor enunțate mai sus sunt indicate în figura de mai jos; se observă că, datorită scurtcircuitului introdus de **C**, **R1** este scurtcircuitat la rândul său, și din acest motiv, în final, r_d devine conectat în paralel cu **RL**; în circuitul final, grupul de rezistențe conectate în paralel sunt înlocuite cu rezistența echivalentă **RP**:

$$R_P = \frac{r_d \cdot R_L}{r_d + R_L}$$



Circuitul echivalent în regim variabil de semnal mic

Exemple de probleme rezolvate pentru capitolul Dioda

Circuitul echivalent în regim variabil de semnal mic reprezintă un divizor de tensiune: tensiunea $v_I(t)$ se divide pe elementele conectate în serie R_2 și R_P , rezultă:

$$v_O(t) = \frac{R_P}{R_2 + R_P} \cdot v_I(t)$$

\Rightarrow

$$R_P = \frac{5[\Omega] \cdot 50[\Omega]}{5[\Omega] + 50[\Omega]} = \frac{250[\Omega]}{55[\Omega]} \cong 4,54[\Omega]$$

$$v_O(t) = \frac{4,54[\Omega]}{50[\Omega] + 4,54[\Omega]} \cdot 100 \cdot \sin(t)[mV] = \frac{4,54}{54,55} \left[\frac{\Omega}{\Omega} \right] \cdot 100 \cdot \sin(t)[mV] \cong \underset{\text{amplitudine}}{8,32} \cdot \sin(t)[mV]$$

\Rightarrow

$$V_o = 8,32[mV]$$

Deoarece amplitudinea pe diodă, care este V_o este mai mică decât **12,5[mV]**, rezultă că dioda funcționează în regim variabil de semnal mic.