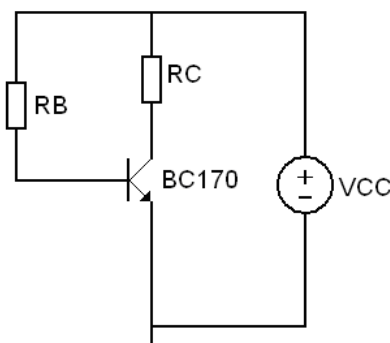


Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 05 DEEA
Tranzistoare bipolare cu joncțiuni

Problema 1. Se dă circuitul de mai jos pentru care se cunosc: $V_{CC}=10[V]$, $R_B=470[k\Omega]$, $R_C=2,7[k\Omega]$. Tranzistorul bipolar cu joncțiuni (TBJ) este de tipul BC170 și are parametrii $\beta=100$ și $V_{BE}=0,6[V]$.



1. să se determine PSF-ul tranzistorului.
2. să se verifice dacă tranzistorul funcționează în Regiunea Activă Normală.
3. să se deseneze în planul IC-VCE **dreapta de sarcină statică** și să se indice pe acesta PSF-ul tranzistorului calculat la punctul anterior.

Rezolvare:

1. Punctul static de funcționare al tranzistorului este compus din perechea de mărimi electrice:

- I_C – curentul continuu de colector
- V_{CE} – tensiunea continuă colector emitor.

Aceste mărimi se determină în ordinea: a. I_C ; b. V_{CE}

a. determinarea curentului I_C se realizează prin utilizarea formulei de calcul pentru curentul I_C (dedusă în conținutul cursului 7):

$$I_C = \frac{\beta \cdot (V_{CC} - V_{BE})}{R_B}$$

Pentru calculul numeric, valorile rezistențelor se păstrează în kilooohmi, tensiunile în volți, iar curentul electric se va exprima în miliamperi:

$$\Rightarrow I_C = \frac{100 \cdot (10[V] - 0,6[V])}{470[k\Omega]} = \frac{940 [V]}{470 [k\Omega]} = 2[mA]$$

b. determinarea tensiunii V_{CE} se realizează prin utilizarea formulei de calcul pentru tensiunea V_{CE} (dedusă în conținutul cursului 7):

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C \cdot I_C$$

Pentru calculul numeric, valorile rezistențelor se păstrează în kilooohmi, curentul electric în miliamperi, iar tensiunea se va exprima în volți:

$$\Rightarrow V_{CE} = 10[V] - 2[k\Omega] \cdot 2[mA] = 10[V] - 4[V] = 6[V]$$

Deci Punctul Static de Funcționare al tranzistorului bipolar este:

$$I_C=2[\text{mA}]; V_{CE}=6[\text{V}]$$

2. Tranzistorul bipolar funcționează în Regiunea Activă Normală dacă tensiunea V_{CE} , calculată în Punctul Static de Funcționare, respectă condiția:

$$0,5[\text{V}] < V_{CE} < V_{CC} - 0,5[\text{V}]$$

Pentru valorile numerice ale tensiunilor implicate în relația de mai sus, acesta devine:

$$0,5[\text{V}] < 6[\text{V}] < 9,5[\text{V}]$$

deci este adevărată și în consecință tranzistorul funcționează în Regiunea Activă Normală.

3. **Dreapta de sarcină statică** reprezintă mulțimea Punctelor Statice de Funcționare pe care le poate avea tranzistorul bipolar. Această dreaptă se desenează în planul IC-VCE, iar ecuația dreptei respective este dată de relația de calcul a tensiunii V_{CE} , rescrisă sub următoarea formă:

$$R_C \cdot I_C + V_{CE} - V_{CC} = 0$$

ecuația dreptei de sarcină statică

Intersecția acestei drepte cu axele planului IC-VCE se determină astfel:

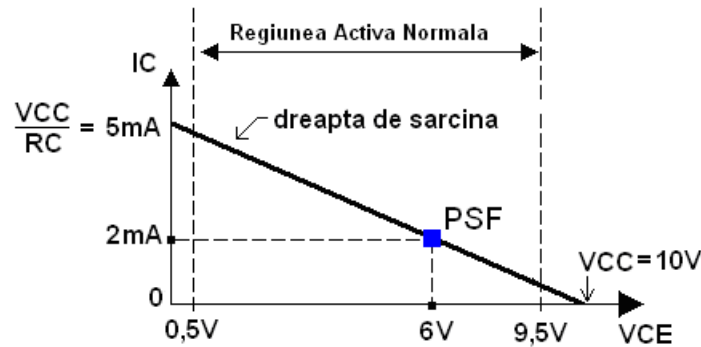
- intersecția cu axa OX: în relația de mai sus, se consideră $I_C=0[\text{mA}] \Rightarrow V_{CE}=V_{CC}$.
- intersecția cu axa OY: în relația de mai sus, se consideră $V_{CE}=0[\text{V}] \Rightarrow I_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$.

Ținând cont de valorile numerice din problemă, dreapta de sarcină statică intersectează axa OX în punctul de valoare $V_{CE} = 10[\text{V}]$, iar axa OY în punctul de valoare $I_C = 5[\text{mA}]$.

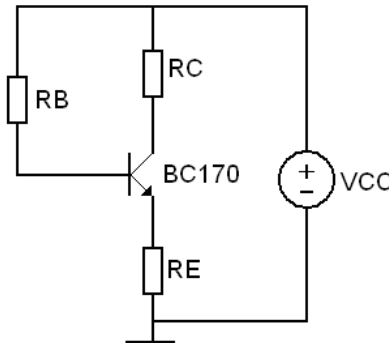
Punctul static de funcționare determinat la punctul precedent se află pe această dreaptă, așa cum este prezentat în figura de mai jos.

În aplicații, se recomandă ca circuitul de polarizare să fie astfel proiectat încât valorile PSF-ului să rezulte la mijlocul dreptei de sarcină statică, pentru a fi situat cât mai în interiorul Regiunii Active Normale - vezi figura.

Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 05 DEEA
Tranzistoare bipolare cu joncțiuni



Problema 2. Se dă circuitul de mai jos pentru care se cunosc: $V_{CC}=10[V]$, $R_B=910[k\Omega]$, $R_E=510[\Omega]$, $R_C=2,2[k\Omega]$. TBJ-ul (tipul acestuia este BC170) are parametrii $\beta=200$ și $V_{BE}=0,6[V]$.



1. să se determine PSF-ul tranzistorului.
2. să se verifice dacă tranzistorul funcționează în Regiunea Activă Normală.
3. să se deseneze în planul IC-VCE **dreapta de sarcină statică** și să se indice pe acesta PSF-ul tranzistorului calculat la punctul anterior.
4. presupunem că TBJ-ul utilizat în calculele precedente s-a defectat și este înlocuit cu același tip de tranzistor (tot BC 170) dar care are un parametru β diferit, datorită dispersiei tehnologice a acestui parametru; noul tranzistor are valoarea acestui parametru $\beta=425$. Să se recalculeze PSF-ul tranzistorului în aceste condiții și să se indice pe dreapta de sarcină desenată la punctul 2, noile coordonate ale PSF-ului; să se verifice dacă tranzistorul mai funcționează în Regiunea Activă Normală.

Rezolvare:

1. Punctul static de funcționare al tranzistorului este compus din perechea de mărimi electrice:

- I_C – curentul continuu de colector
- V_{CE} – tensiunea continuă colector emitor.

Aceste mărimi se determină în ordinea: a. I_C ; b. V_{CE}

a. determinarea curentului I_C se realizează prin utilizarea formulei de calcul pentru curentul I_C (dedusă în conținutul cursului 7):

Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 05 DEEA
Tranzistoare bipolare cu joncțiuni

$$I_C = \frac{\beta \cdot (V_{CC} - V_{BE})}{R_B + \beta \cdot R_E}$$

Pentru calculul numeric, valorile rezistențelor se păstrează în kilooohmi, tensiunile în volți, iar curentul electric se va exprima în miliamperi:

$$\Rightarrow I_C = \frac{200 \cdot (10[V] - 0,6[V])}{910[k\Omega] + 200 \cdot 0,51[k\Omega]} = \frac{1880 [V]}{1012 [k\Omega]} \cong 1,86[mA]$$

b. determinarea tensiunii VCE se realizează prin utilizarea formulei de calcul pentru tensiunea VCE (dedusă în conținutul cursului 7):

$$V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E) \cdot I_C$$

Pentru calculul numeric, valorile rezistențelor se păstrează în kilooohmi, curentul electric în miliamperi, iar tensiunea se va exprima în volți:

$$\Rightarrow V_{CE} = 10[V] - (2,2[k\Omega] + 0,51[k\Omega]) \cdot 1,86[mA] = 10[V] - 5,04[V] = 4,96[V]$$

Deci Punctul Static de Funcționare al tranzistorului bipolar este:

$$I_C=1,86[mA]; V_{CE}=4,96[V]$$

2. Tranzistorul bipolar funcționează în Regiunea Activă Normală dacă tensiunea VCE, calculată în Punctul Static de Funcționare, respectă condiția:

$$0,5[V] < V_{CE} < V_{CC} - 0,5[V]$$

Pentru valorile numerice ale tensiunilor implicate în relația de mai sus, acesta devine:

$$0,5[V] < 4,96[V] < 9,5[V],$$

deci este adevărată și în consecință tranzistorul funcționează în Regiunea Activă Normală.

3. Dreapta de sarcină statică reprezintă mulțimea Punctelor Statice de Funcționare pe care le poate avea tranzistorul bipolar. Această dreaptă se desenează în planul IC-VCE, iar ecuația dreptei este dată de relația de calcul a tensiunii VCE, rescrisă astfel:

$$(R_E + R_C) \cdot I_C + V_{CE} - V_{CC} = 0$$

ecuația dreptei de sarcină statică

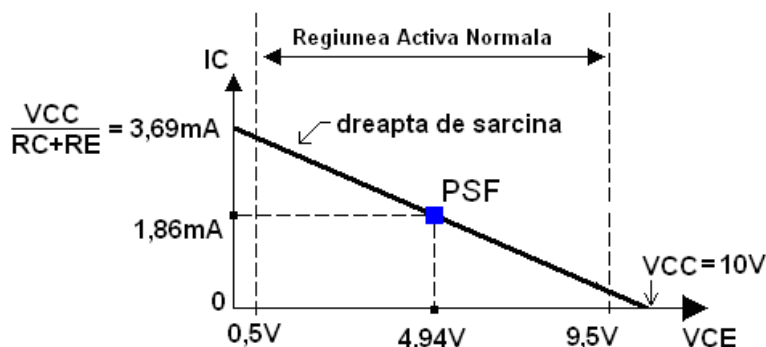
Intersecția acestei drepte cu axele planului IC-VCE se determină astfel:

Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 05 DEEA
Tranzistoare bipolare cu joncțiuni

- intersecția cu axa OX: în relația de mai sus, se consideră $I_C=0[\text{mA}] \Rightarrow V_{CE}=V_{CC}$.
- intersecția cu axa OY: în relația de mai sus, se consideră $V_{CE}=0[\text{V}] \Rightarrow I_C = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$.

Ținând cont de valorile numerice din problemă, dreapta de sarcină statică intersectează axa OX în punctul de valoare $V_{CE} = 10[\text{V}]$, iar axa OY în punctul de valoare $I_C = 3,69[\text{mA}]$.

Punctul static de funcționare determinat la punctul precedent se află pe această dreaptă, așa cum este prezentat în figura de mai jos.



4. Curentul I_C se recalculează cu ajutorul formulei de calcul $I_C = \frac{\beta \cdot (V_{CC} - V_{BE})}{R_B + \beta \cdot R_E}$:

$$I_C = \frac{425 \cdot (10[\text{V}] - 0,6[\text{V}])}{910[\text{k}\Omega] + 425 \cdot 0,51[\text{k}\Omega]} = \frac{3995[\text{V}]}{1126,75[\text{k}\Omega]} \cong 3,55[\text{mA}]$$

Tensiunea V_{CE} se recalculează cu ajutorul formulei de calcul $V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E) \cdot I_C$

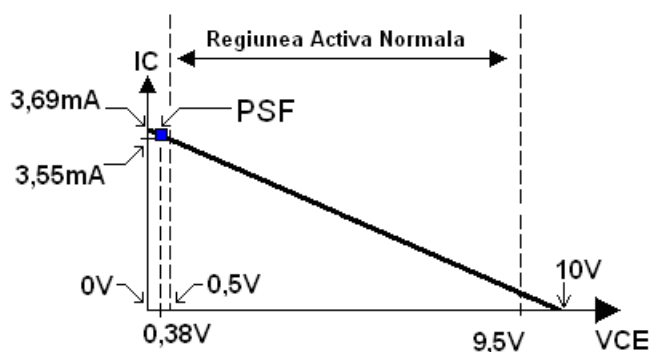
$$V_{CE} = 10[\text{V}] - (2,2[\text{k}\Omega] + 0,51[\text{k}\Omega]) \cdot 3,55[\text{mA}] = 10[\text{V}] - 9,62[\text{V}] = 0,38[\text{V}]$$

Deci noua valoare a Punctului Static de Funcționare al tranzistorului bipolar este:

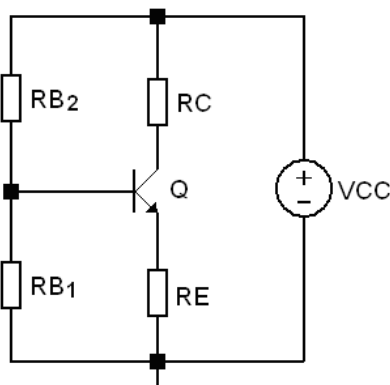
$I_C=3,55[\text{mA}]; V_{CE}=0,38[\text{V}]$

Noul PSF se deplasează în exteriorul Regiunii Active Normale și intră în regiunea de saturație (pentru care $V_{CE} < 0,5[\text{V}]$) – vezi figura de mai jos. Din acest calcul, se remarcă faptul că acest circuit de polarizare nu este performant, deoarece valoarea PSF-ului tranzistorului bipolar variază în funcție de valoarea parametrului β al tranzistorului, care, la rîndul său, variază puternic cu temperatura de lucru a circuitului și totodată prezintă fenomenul de dispersie tehnologică. Din acest motiv, în mod uzual se utilizează circuitul de polarizare cu divizor rezistiv în bază, care asigură independența PSF-ului tranzistorului de parametrul β al tranzistorului.

Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 05 DEEA
Tranzistoare bipolare cu joncțiuni



Problema 3. Se dă circuitul de mai jos pentru care se cunosc: $V_{CC}=10[V]$, $R_{B1}=12[k\Omega]$, $R_{B2} = 56[k\Omega]$, $R_E=510[\Omega]$, $R_C=2,2[k\Omega]$. TBJ-ul (tipul acestuia este BC170) are parametri $\beta=200$ și $V_{BE}=0,6[V]$.



1. să se determine PSF-ul tranzistorului.
2. să se verifice dacă tranzistorul funcționează în Regiunea Activă Normală.
3. să se deseneze în planul I_C - V_{CE} **dreapta de sarcină statică** și să se indice pe acesta PSF-ul tranzistorului calculat la punctul anterior.
4. presupunem că TBJ-ul utilizat în calculele precedente s-a defectat și este înlocuit cu același tip de tranzistor (tot BC 170) dar care are un parametru β diferit, datorită dispersiei tehnologice a acestui parametru; noul tranzistor are valoarea acestui parametru $\beta=425$. Să se recalculeze PSF-ul tranzistorului în aceste condiții și să se indice pe dreapta de sarcină desenată la punctul 2, noile coordonate ale PSF-ului; să se verifice dacă tranzistorul mai funcționează în Regiunea Activă Normală.

Rezolvare:

1. Punctul static de funcționare al tranzistorului este compus din perechea de mărimi electrice:

- I_C – curentul continuu de colector
- V_{CE} – tensiunea continuă colector emitor.

Aceste mărimi se determină în ordinea: a. I_C ; b. V_{CE}

a. determinarea curentului I_C se realizează prin utilizarea formulei de calcul pentru curentul I_C (dedusă în conținutul cursului 7):

$$I_C = \frac{\beta \cdot (V_{BB} - V_{BE})}{R_B + \beta \cdot R_E}$$

Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 05 DEEA
Tranzistoare bipolare cu joncțiuni

unde

$$V_{BB} = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot V_{CC}$$

$$R_B = \frac{R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

Pentru calculul numeric, valorile rezistențelor se păstrează în kilohmi, tensiunile în volți, iar curentul electric se va exprima în miliamperi:

$$\Rightarrow V_{BB} = \frac{12[k\Omega]}{12[k\Omega] + 56[k\Omega]} \cdot 10[V] = \frac{12[k\Omega]}{68[k\Omega]} \cdot 10[V] = 1,76[V] \quad V_{BB} = 1,76[V]$$

$$\Rightarrow R_B = \frac{12[k\Omega] \cdot 56[k\Omega]}{12[k\Omega] + 56[k\Omega]} = \frac{672[k\Omega]^2}{68[k\Omega]} = 9,88[k\Omega] \quad R_B = 9,88[k\Omega]$$

$$\Rightarrow I_C = \frac{200 \cdot (1,76[V] - 0,6[V])}{9,88[k\Omega] + 200 \cdot 0,51[k\Omega]} = \frac{232 [V]}{111,8 [k\Omega]} \cong 2,075[mA] \cong 2,1[mA]$$

Observație: deoarece circuitul de polarizare asigură condiția $\beta \cdot R_E \gg R_B$, pentru calculul curentului electric I_C se poate utiliza și următoarea relație aproximativă $I_C \cong \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E}$.

Utilizând această relație, valoarea curentului electric I_C este:

$$I_C = \frac{1,76[V] - 0,6[V]}{0,51[k\Omega]} = \frac{1,16 [V]}{0,51 [k\Omega]} \cong 2,275[mA] \cong 2,3[mA]$$

Comparând cele 2 rezultate obținute, se remarcă că eroarea generată de utilizarea celei de a 2a formule de calcul este de ordinul sutelor de microamperi. Deoarece în unele aplicații o asemenea eroare nu este permisă, se preferă pentru calculul curentului I_C prima formulă de calcul.

b. determinarea tensiunii VCE se realizează prin utilizarea formulei de calcul pentru tensiunea VCE (dedusă în conținutul cursului 7):

$$V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E) \cdot I_C$$

Pentru calculul numeric, valorile rezistențelor se păstrează în kilohmi, curentul electric în miliamperi, iar tensiunea se va exprima în volți:

$$\Rightarrow V_{CE} = 10[V] - (2,2[k\Omega] + 0,51[k\Omega]) \cdot 2,1[mA] = 10[V] - 5,69[V] = 4,3[V]$$

Deci Punctul Static de Funcționare al tranzistorului bipolar este:

$$I_C = 2,1[\text{mA}]; V_{CE} = 4,3[\text{V}]$$

2. Tranzistorul bipolar funcționează în Regiunea Activă Normală dacă tensiunea V_{CE} , calculată în Punctul Static de Funcționare, respectă condiția:

$$0,5[\text{V}] < V_{CE} < V_{CC} - 0,5[\text{V}]$$

Pentru valorile numerice ale tensiunilor implicate în relația de mai sus, acesta devine:

$$0,5[\text{V}] < 4,3[\text{V}] < 9,5[\text{V}],$$

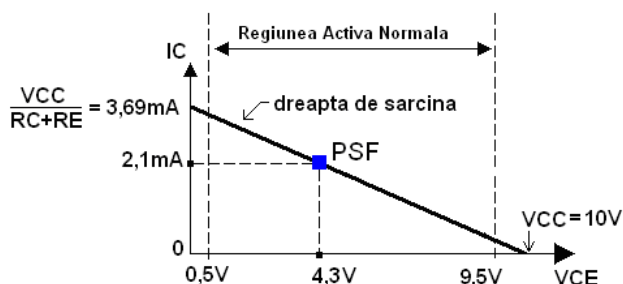
deci este adevărată și în consecință tranzistorul funcționează în Regiunea Activă Normală.

3. **Dreapta de sarcină statică** reprezintă mulțimea Punctelor Statice de Funcționare pe care le poate avea tranzistorul bipolar. Această dreaptă se desenează în planul I_C - V_{CE} , iar ecuația dreptei este dată de relația de calcul a tensiunii V_{CE} , rescrisă astfel:

$$(R_E + R_C) \cdot I_C + V_{CE} - V_{CC} = 0$$

ecuația dreptei de sarcină statică

Se observă că acest circuit generează aceeași dreaptă de sarcină statică ca și în cazul precedentului circuit. Ținând cont de valorile numerice din problemă, dreapta de sarcină statică intersectează axa OX în punctul de valoare $V_{CE} = 10[\text{V}]$, iar axa OY în punctul de valoare $I_C = 3,69[\text{mA}]$. Punctul static de funcționare determinat la punctul precedent se află pe această dreaptă, așa cum este prezentat în figura de mai jos.



4. Curentul I_C se recalculează cu ajutorul formulei de calcul $I_C = \frac{\beta \cdot (V_{BB} - V_{BE})}{R_B + \beta \cdot R_E}$:

$$I_C = \frac{425 \cdot (1,76[\text{V}] - 0,6[\text{V}])}{9,88[\text{k}\Omega] + 425 \cdot 0,51[\text{k}\Omega]} = \frac{493[\text{V}]}{226,63[\text{k}\Omega]} \cong 2,17[\text{mA}]$$

Tensiunea V_{CE} se recalculează cu ajutorul formulei de calcul $V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E) \cdot I_C$

$$V_{CE} = 10[\text{V}] - (2,2[\text{k}\Omega] + 0,51[\text{k}\Omega]) \cdot 2,17[\text{mA}] = 10[\text{V}] - 9,62[\text{V}] = 4,11[\text{V}]$$

Exemple de probleme rezolvate pentru cursul 05 DEEA
Tranzistoare bipolare cu joncțiuni

Deci noua valoare a Punctului Static de Funcționare al tranzistorului bipolar este:

$$I_C = 2,17[\text{mA}]; V_{CE} = 4,11 [\text{V}]$$

Se remarcă faptul că, pentru aceeași variația a valorii parametrului β ca și în cazul problemei precedente în care s-a utilizat un circuit de polarizare diferit ($\beta_{\text{final}} = 425$, $\beta_{\text{inițial}} = 200$), de această dată, noul PSF rămâne în interiorul Regiunii Active Normale.

Se remarcă faptul că, pentru această problemă, variația curentului de colector $\Delta I_C = I_{C_{\text{final}}} - I_{C_{\text{inițial}}}$ este mult mai mică decât în problema precedentă:

Problema 2: $\Delta I_C = 3,55[\text{mA}] - 1,86[\text{mA}] = 1,69[\text{mA}]$ ☹

Problema 3: $\Delta I_C = 2,17[\text{mA}] - 2,1[\text{mA}] = 0,07[\text{mA}]$ ☺

ceea ce confirmă faptul că circuitul de polarizare utilizat în această problemă asigură independența valorii curentului I_C față de variațiile parametrului β , spre deosebire de precedentul circuit.

