

5.5. REZOLVAREA CIRCUITELOR CU TRANZISTOARE BIPOLARE

PROBLEMA 1.

În circuitul din figura 5.54 se cunosc valorile: $I_B = 40 \text{ mA}$ și $\beta = 250$

Se cere:

- Valoarea intensității curentului de colector I_C .
- Valoarea tensiunii bază-emitor U_{BE} .
- Valoarea tensiunii colector-emitor U_{CE} .

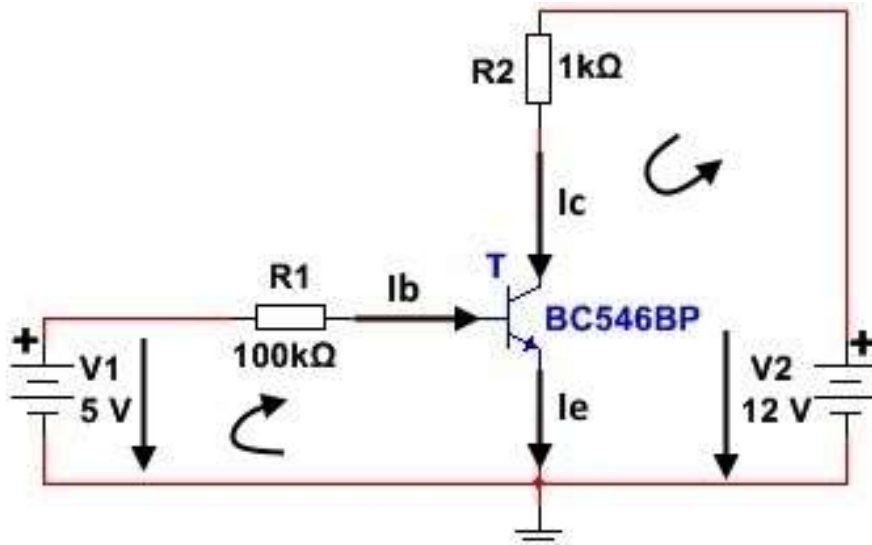


Figura 5.54 Tranzistor bipolar NPN polarizat cu două surse de alimentare

REZOLVARE

a. $I_C = \beta \cdot I_B = 250 \cdot 40(\mu A) = 10000 \mu A = 10 \text{ mA}$ $I_C = 10 \text{ mA}$

b. În ochiul de rețea unde se află jonctiunea BE, conform legii a II a lui Kirchhoff:

$$-V_1 + U_{R1} + U_{BE} = 0 \Rightarrow U_{BE} = V_1 - R_1 \cdot I_B \Rightarrow U_{BE} = 5V - 100K\Omega \cdot 40\mu A$$

$$U_{BE} = 5 - 100 \cdot 10^3 \cdot 40 \cdot 10^{-6} = 5 - 4 = 1V \qquad \qquad \qquad U_{BE} = 1V$$

c. În ochiul de rețea unde se află jonctiunea CE, conform legii a II a lui Kirchhoff:

$$-V_2 + U_{R2} + U_{CE} = 0 \Rightarrow U_{CE} = V_2 - R_2 \cdot I_C \Rightarrow U_{CE} = 12V - 1K\Omega \cdot 10mA$$

$$U_{CE} = 12 - 1 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 12 - 10 = 2V \qquad \qquad \qquad U_{CE} = 2V$$

PROBLEMA 2.

În circuitul din figura 5.55 se cunosc valorile: $U_{BE} = 0,6 V$ și $\beta = 200$

Se cere:

- Valoarea intensității curentului de colector I_C .
- Valoarea tensiunii din colector U_C .
- Valoarea tensiunii din emitor U_E .
- Valoarea tensiunii colector – emitor U_{CE} .

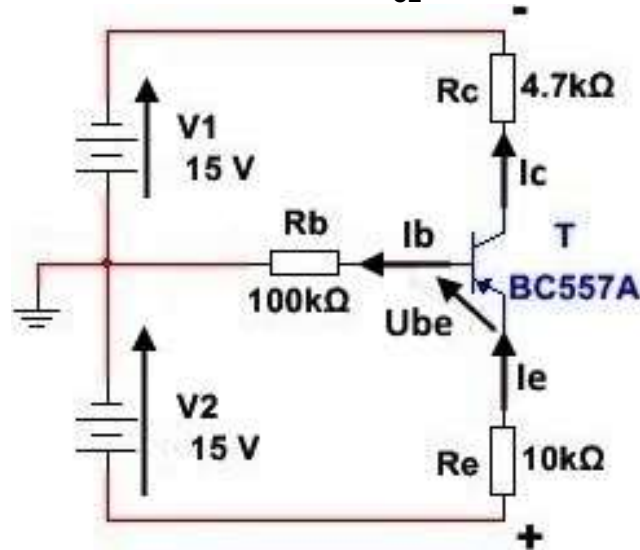


Figura 5.55 Tranzistor bipolar PNP polarizat cu două surse de alimentare

REZOLVARE

$$\text{a. } -V_2 + U_{be} + R_e \cdot I_e + R_b \cdot I_b = 0 \Rightarrow R_e \cdot I_e + R_b \cdot I_b = V_2 - U_{be} \quad (1)$$

$$\text{Dar: } I_e \cong I_c = \beta \cdot I_b \Rightarrow I_b = \frac{I_c}{\beta} \text{ și } I_e = I_c \quad (2)$$

$$\text{Înlocuind (2) în (1)} \Rightarrow R_e \cdot I_c + R_b \cdot \frac{I_c}{\beta} = V_2 - U_{be} \Rightarrow I_c \cdot \left(R_e + \frac{R_b}{\beta} \right) = V_2 - U_{be}$$

$$I_c = \frac{V_2 - U_{be}}{\frac{R_b}{\beta} + R_e} = \frac{15V - 0,6V}{\frac{100K}{200} + 10K} = \frac{14,4}{\left(\frac{100}{200} + 10\right) \cdot 10^3} = \frac{14,4}{10,5} \cdot 10^{-3} = 1,37 \text{ mA}$$

$$I_c = 1,37 \text{ mA}$$

OBS. Se poate calcula mai întâi I_B apoi I_C și I_E știind că $I_E = (\beta + 1) \cdot I_B$ și $I_C = \beta \cdot I_B$

$$\text{b. } V_1 - R_c \cdot I_c + U_C = 0 \Rightarrow U_C = R_c \cdot I_c - V_1 \Rightarrow U_C = 4,7K \cdot 1,37mA - 15V$$

$$U_C = 4,7 \cdot 10^3 \cdot 1,37 \cdot 10^{-3} - 15 = 6,43 - 15 = -8,57 \quad U_C = -8,57 V$$

$$\text{c. } V_2 - R_e \cdot I_e - U_E = 0 \Rightarrow U_E = V_2 - R_e \cdot I_e \Rightarrow U_E = 15V - 10K \cdot 1,37mA$$

$$U_E = 15 - 10 \cdot 10^3 \cdot 1,37 \cdot 10^{-3} = 15 - 13,7 = 1,3 \quad U_E = 1,3 V$$

$$\text{d. } U_{CE} = U_C - U_E \Rightarrow U_{CE} = -8,57V - 1,3V \Rightarrow U_{CE} = -9,87 V$$

PROBLEMA 3.

În circuitul din figura 5.56 se cunosc valorile: $U_{BE} = 0,6 V$ și $\beta = 239$

Se cere:

- Valoarea intensității curentului din bază I_b .
- Valoarea intensității curentului din colector I_c și curentului din emitor I_e .
- Valoarea tensiunii colector – emitor U_{ce} .

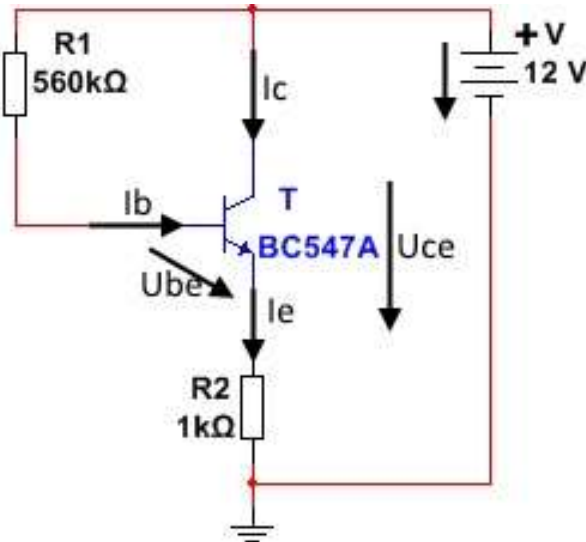


Figura 5.56 Tranzistor bipolar NPN polarizat cu o sursă de alimentare

REZOLVARE

- a. Se aplică T2 Kirchhoff pe ochiul care conține jonctiunea bază-emitor:

$$R1 \cdot I_b + U_{be} + R2 \cdot I_e - V = 0 \Rightarrow V = U_{be} + R1 \cdot I_b + R2 \cdot I_e \quad (1)$$

$$I_c = \beta \cdot I_b \quad (2) \quad I_e = I_b + I_c \quad (3) \quad \text{Înlocuind (2) în (3)} \Rightarrow I_e = I_b \cdot (\beta + 1) \quad (4)$$

$$\text{Înlocuind (4) în (1)} \Rightarrow V - U_{be} = R1 \cdot I_b + R2 \cdot I_b \cdot (\beta + 1) \quad (5)$$

$$\text{Din (5)} \Rightarrow I_b = \frac{V - U_{be}}{R1 + R2 \cdot (\beta + 1)} \quad (6)$$

$$I_b = \frac{12V - 0,6V}{560K + 1K \cdot (239 + 1)} = \frac{11,4}{800 \cdot 10^3} = 0,014 \cdot 10^{-3} A \Rightarrow I_b = 14 \mu A$$

$$\text{b. } I_c = \beta \cdot I_b \Rightarrow I_c = 239 \cdot 14 \mu A = 3346 \mu A = 3,34 mA \Rightarrow I_c = 3,34 mA$$

$$I_e = (\beta + 1) \cdot I_b \Rightarrow I_e = 240 \cdot 14 \mu A = 3360 \mu A = 3,36 mA \Rightarrow I_e = 3,36 mA$$

- c. Se aplică T2 Kirchhoff pe ochiul care conține jonctiunea colector-emitor:

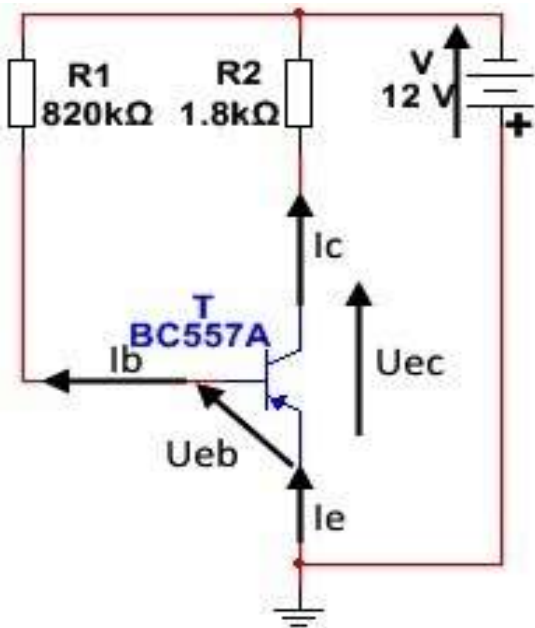
$$U_{ce} + R2 \cdot I_e - V = 0 \Rightarrow U_{ce} = V - R2 \cdot I_e \quad (7)$$

$$U_{ce} = 12V - 1K \cdot 3,36 mA = 12 - 1 \cdot 10^3 \cdot 3,36 \cdot 10^{-3} = 12 - 3,36 = 8,64$$

$$U_{ce} = 8,64 V$$

PROBLEMA 4.

În circuitul din figura 5.57 se cunosc valorile: $U_{EB} = 0,7 V$ și $\beta = 220$.



Se cere:

a. Coordonatele punctului static de funcționare.

b. Coordonatele punctelor de intersecție ale dreptei de sarcină cu axele de coordonate.

Figura 5.57 Tranzistor bipolar PNP polarizat cu o sursă de alimentare

REZOLVARE

a. Se aplică T2 Kirchhoff pe ochiul ce conține jonctiunea bază-emitor:

$$U_{eb} + R1 \cdot I_b - V = 0 \Rightarrow R1 \cdot I_b = V - U_{eb} \Rightarrow I_b = \frac{V - U_{eb}}{R1} \quad (1)$$

$$I_b = \frac{12V - 0,7V}{820K\Omega} = \frac{11,3}{820 \cdot 10^3} = 0,013 \cdot 10^{-3} mA = 13 \mu A \quad I_b = 13 \mu A$$

$$I_c = \beta \cdot I_b \quad (2) \Rightarrow I_c = 220 \cdot 13 \mu A = 2860 \mu A = 2,8 mA \quad I_c = 2,8 mA$$

Se aplică T2 Kirchhoff pe ochiul ce conține jonctiunea colector-emitor:

$$U_{ec} + R2 \cdot I_c - V = 0 \Rightarrow U_{ec} = V - R2 \cdot I_c \quad (3)$$

$$U_{ec} = 12V - 1,8K \cdot 2,8mA = 12 - 1,8 \cdot 10^3 \cdot 2,8 \cdot 10^{-3} \Rightarrow U_{ec} = 6,9 V$$

Coordonatele PSF sunt: $(I_c = 2,8 mA ; U_{ec} = 6,9 V)$

b. Pentru determinarea punctelor de intersecție cu axele în relația (3) se egalează cu zero, pe rând, I_c și U_{ec}

$$I_c = 0 \Rightarrow U_{ec} + 0 - V = 0 \Rightarrow U_{ec} = V \Rightarrow U_{ec(max)} = 12V$$

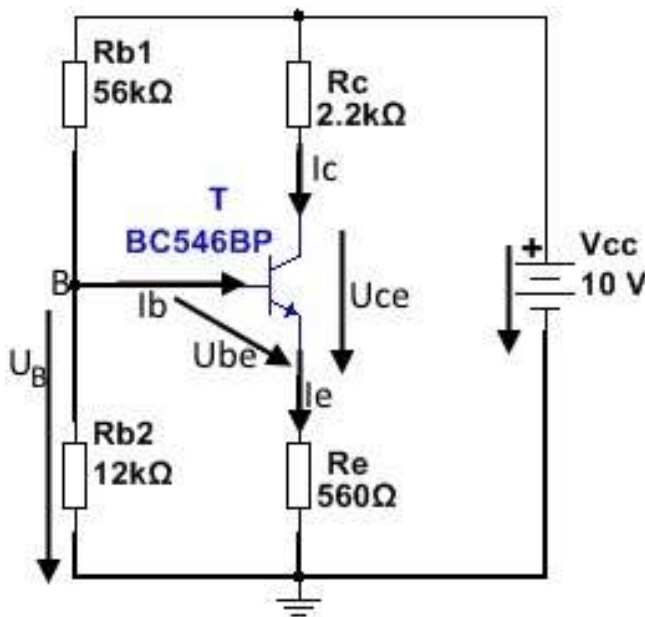
$$U_{ec} = 0 \Rightarrow 0 + R2 \cdot I_c - V = 0 \Rightarrow I_c = \frac{V}{R2} \Rightarrow I_c(max) = 6,6 mA$$

Coordonatele punctelor de intersecție cu axele sunt:

$$A(12 ; 0) \text{ și } B(0 ; 6,6)$$

PROBLEMA 5.

În circuitul din figura 5.58 se cunosc valorile: $U_{be} = 0,6 V$ și $\beta = 310$.



Se cere:

- Coordonatele punctului static de funcționare.
- Coordonatele punctelor de intersecție ale dreptei de sarcină cu axele de coordonate.
- Să se verifice dacă tranzistorul funcționează în regiunea activă normală

Figura 5.58 Tranzistor bipolar NPN polarizat cu divizor de tensiune

REZOLVARE

a. Divizorul de tensiune format din rezistoarele R_{b1} și R_{b2} stabilește în baza

tranzistorului T tensiunea $U_B = \left(\frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}}\right) \cdot V_{CC}$ (1)

$$U_B = \left(\frac{12K}{56k + 12k}\right) \cdot 10V = 0,176 \cdot 10 = 1,76V \Rightarrow U_B = 1,76 V$$

Se aplică T2 Kirchhoff pe ochiul ce conține joncțiunea bază-emitor:

$$-U_B + U_{be} + R_e \cdot I_e = 0 \Rightarrow R_e \cdot I_e = U_B - U_{be} \Rightarrow I_e = \frac{U_B - U_{be}}{R_e} \quad (2)$$

$$I_e = \frac{1,76V - 0,6V}{560\Omega} = \frac{1,16}{560} = 0,00207 A = 2,07 mA \Rightarrow I_e = 2,07 mA$$

$$\text{Se știe că: } I_e = (\beta + 1) \cdot I_b \Rightarrow I_b = \frac{I_e}{\beta + 1} \quad (3)$$

$$I_b = \frac{2,07}{310 + 1} = \frac{2,07}{311} = 0,0066 mA = 6,6 \mu A \Rightarrow I_b = 6,6 \mu A$$

$$\text{Deoarece } I_c = \beta \cdot I_b \quad (4) \Rightarrow I_c = 310 \cdot 6,6 \mu A = 2046 \mu A = 2,04 mA$$

$$I_c = 2,04 mA$$

Se aplică T2 Kirchhoff pe ochiul ce conține jonctiunea colector-emitor:

$$-V_{cc} + R_c \cdot I_c + U_{ce} + R_e \cdot I_e = 0 \Rightarrow U_{ce} = V_{cc} - R_c \cdot I_c - R_e \cdot I_e \quad (5)$$

$$U_{ce} = 10 - 2,2K\Omega \cdot 2,04mA - 560\Omega \cdot 2,07mA$$

$$U_{ce} = 10 - 2,2 \cdot 10^3 \cdot 2,04 \cdot 10^{-3} - 560 \cdot 2,07 \cdot 10^{-3}$$

$$U_{ce} = 10 - 4,48 - 1,16 = 4,36 V \Rightarrow U_{ce} = 4,36 V.$$

Coordonatele PSF sunt: ($I_c = 2,04 mA$; $U_{ce} = 4,36 V$)

b. Pentru determinarea punctelor de intersecție cu axele în relația (5) se egalează cu zero, pe rând, I_c și U_{ce}

$$I_c = 0 \Rightarrow U_{ce} = 10 - 0 - 1,16 \Rightarrow U_{ce(max)} = 8,84V$$

$$U_{ce} = 0 \Rightarrow R_c \cdot I_c = V_{cc} - 0 - R_e \cdot I_e \Rightarrow I_c = \frac{V_{cc} - R_e \cdot I_e}{R_c}$$

$$I_c = \frac{10 - 1,16}{2,2 \cdot 10^3} = \frac{8,84}{2,2} \cdot 10^{-3} = 4,01 \cdot 10^{-3} A \quad I_c(max) = 4,01 mA$$

Coordonatele punctelor de intersecție cu axele sunt:

$$A(8,84 ; 0) \text{ și } B(0 ; 4,01)$$

c. Tranzistorul funcționează în RAN dacă sunt îndeplinite condițiile;

$$(1) 10 \cdot R_{b2} < \beta \cdot R_e \quad (2) 0,5 < U_{ce} < (V_{cc} - 1) [V]$$

Verificarea condițiilor:

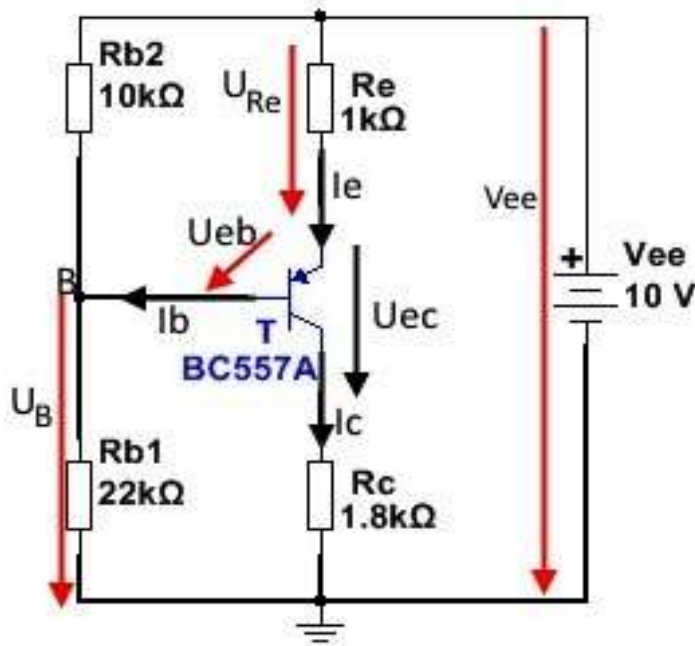
$$1. 12000 \cdot 10 < 310 \cdot 560 \Rightarrow 120000 < 173600 \Rightarrow "A"$$

$$2. 0,5 < 4,36 < 10 - 1 \Rightarrow 0,5 < 4,36 < 9 \Rightarrow "A"$$

Pentru verificarea regimului de funcționare a tranzistorului se calculează tensiunea pe fiecare terminal al tranzistorului apoi se observă cum sunt polarizate jonctiunile tranzistorului. Această metodă este prezentată în problemele care urmează.

PROBLEMA 6.

În circuitul din figura 5.59 se cunosc valorile: $U_{eb} = 0,7 V$ și $\beta = 215$.



Se cere:

- Coordonatele punctului static de funcționare.
- Să se determine regimul de funcționare al tranzistorului.

Figura 5.59 Tranzistor bipolar PNP polarizat cu divizor de tensiune

REZOLVARE

a. Divizorul de tensiune format din rezistoarele R_{b1} și R_{b2} stabilește în baza

tranzistorului T tensiunea $U_B = \left(\frac{R_{b1}}{R_{b1}+R_{b2}}\right) \cdot V_{CC}$ (1)

$$U_B = \left(\frac{22K}{22k + 10k}\right) \cdot 10V = 0,688 \cdot 10 = 6,88V \Rightarrow U_B = 6,88 V$$

Între tensiunile marcate cu roșu în schema de mai sus este relația:

$$V_{ee} = U_{Re} + U_{eb} + U_B \Rightarrow U_{Re} = V_{ee} - U_{eb} - U_B \quad (2)$$

$$U_{Re} = R_e \cdot I_e \quad (3) \quad \text{Înlocuind relația (3) în relația (2) se obține:}$$

$$R_e \cdot I_e = V_{ee} - U_{eb} - U_B \Rightarrow I_e = \frac{V_{ee} - U_{eb} - U_B}{R_e} \quad (4)$$

$$I_e = \frac{10 - 0,7 - 6,88}{1 \cdot 10^3} = 2,42 \cdot 10^{-3} A = 2,42 mA \Rightarrow I_e = 2,42 mA$$

$$\text{Se știe că: } I_e = (\beta + 1) \cdot I_b \Rightarrow I_b = \frac{I_e}{\beta + 1} \quad (5)$$

$$I_b = \frac{2,42}{215 + 1} = \frac{2,42}{216} = 0,011 mA = 11 \mu A \Rightarrow I_b = 11 \mu A$$

Deoarece $I_c = \beta \cdot I_b$ (6) $\Rightarrow I_c = 215 \cdot 11 \mu A = 2365 \mu A = 2,36 mA$

$$I_c = 2,36 mA$$

Se aplică T2 Kirchhoff pe ochiul ce conține jonctiunea colector-emitor:

$$-V_{ee} + R_e \cdot I_e + U_{ec} + R_c \cdot I_c = 0 \Rightarrow U_{ec} = V_{cc} - R_e \cdot I_e - R_c \cdot I_c \quad (7)$$

$$U_{ec} = 10V - 1K\Omega \cdot 2,42mA - 1,8K\Omega \cdot 2,36mA$$

$$U_{ec} = 10 - 1 \cdot 10^3 \cdot 2,42 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^3 \cdot 2,36 \cdot 10^{-3}$$

$$U_{ec} = 10 - 2,42 - 4,24 = 3,34 \Rightarrow U_{ec} = 3,34 V$$

Coordonatele PSF sunt: ($I_c = 2,36 mA$; $U_{ec} = 3,34 V$)

b. Pentru determinarea regimului de funcționare se determină tensiunile în Emitor, Bază, Colector și se observă cum sunt polarizate jonctiunile EB și EC.

Tensiunile la terminalele tranzistorului se determină față de "masa" montajului.

$$U_b = 6,88 V \text{ a fost calculat cu relația (1)}$$

$$U_{eb} = U_e - U_b \Rightarrow U_e = U_{eb} + U_b \quad (8)$$

$$U_e = 0,7V + 6,88V = 7,58 V \Rightarrow U_e = 7,58 V$$

$$U_{ec} = U_e - U_c \Rightarrow U_c = U_e - U_{ec} \quad (9)$$

$$U_c = 7,58V - 3,34V = 4,24 V \Rightarrow U_c = 4,24 V$$

Se observă că $U_c = U_{Rc} = 4,24 V$ (o metodă mai simplă!)

$$U_e = 7,58 V ; U_b = 6,88 V ; U_c = 4,24 V$$

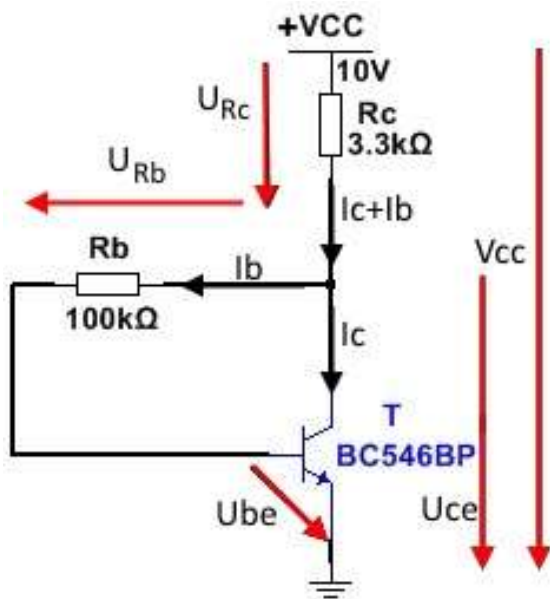
Deoarece $U_e > U_b \Rightarrow$ jonctiunea emitor-bază este polarizată direct

Deoarece $U_c < U_b \Rightarrow$ jonctiunea colector-bază este polarizată invers

Tranzistorul funcționează în regim activ normal deoarece jonctiunea emitor-bază este polarizată direct iar jonctiunea colector-bază este polarizată invers.

PROBLEMA 7.

În circuitul din figura 5.60 se cunosc valorile: $U_{be} = 0,6 V$ și $\beta = 280$



Se cere:

- Valorile parametrilor ce caracterizează punctul static de funcționare al tranzistorului.
- Să se determine regimul de funcționare al tranzistorului.

Figura 5.60 Tranzistor bipolar NPN polarizat cu reacție în colector

REZOLVARE

a. Parametrii care caracterizează PSF sunt: I_b , I_c , U_{ce} .

$$\text{Deoarece } I_c \gg I_b \Rightarrow I_c + I_b \cong I_c \Rightarrow U_{Rc} = R_c \cdot I_c \quad (1)$$

Pe ochiul format de : V_{cc} , U_{Rc} , U_{Rb} , U_{be} se aplică T2 Kirchhoff:

$$V_{cc} = U_{Rc} + U_{Rb} + U_{be} \Rightarrow U_{Rc} + U_{Rb} = V_{cc} - U_{be} \quad (2)$$

$$R_c \cdot I_c + R_b \cdot I_b = V_{cc} - U_{be} \quad (3) \quad I_c = \beta \cdot I_b \quad (4)$$

Înlocuind relația (4) în relația (3) se obține:

$$R_c \cdot \beta \cdot I_b + R_b \cdot I_b = V_{cc} - U_{be} \Rightarrow I_b = \frac{V_{cc} - U_{be}}{R_c \cdot \beta + R_b} \quad (5)$$

$$I_b = \frac{10V - 0,6V}{3,3K\Omega \cdot 280 + 100K\Omega} = \frac{9,4}{3,3 \cdot 10^3 \cdot 280 + 100 \cdot 10^3} = \frac{9,4}{1024} \cdot 10^{-3}$$

$$I_b = 0,009 \cdot 10^{-3} A = 0,009 mA = 9 \mu A \Rightarrow I_b = 9 \mu A$$

Se înlocuiește valoarea lui I_b în relația (4) și se obține:

$$I_c = 280 \cdot 9 \mu A = 2520 \mu A = 2,52 mA \Rightarrow I_c = 2,52 mA$$

Pe ochiul format de : V_{cc} , U_{Rc} , U_{ce} se aplică T2 Kirchhoff:

$$V_{cc} = U_{Rc} + U_{ce} \Rightarrow U_{ce} = V_{cc} - U_{Rc} \Rightarrow U_{ce} = V_{cc} - R_c \cdot I_c \quad (6)$$

$$U_{ce} = 10V - 3,3K\Omega \cdot 2,52mA = 10 - 3,3 \cdot 10^3 \cdot 2,52 \cdot 10^{-3}$$

$$U_{ce} = 10 - 3,3 \cdot 2,52 = 10 - 8,31 = 1,69 \Rightarrow U_{ce} = 1,69 V$$

Parametrii caracteristici punctului static de funcționare al tranzistorului sunt:

$$I_b = 9 \mu A ; I_c = 2,52 mA ; U_{ce} = 1,69 V$$

b. Pentru determinarea regimului de funcționare se determină tensiunile în Emitor, Bază, Colector și se observă cum sunt polarizate joncțiunile BE și BC.

Deoarece emitorul tranzistorului este conectat la "masa" montajului $\Rightarrow U_e = 0$

Dacă $U_e=0 \Rightarrow U_c = U_{ce} = 1,69 V$ și $U_b = U_{be} = 0,6 V$

$$U_e = 0 V ; U_b = 0,6 V ; U_c = 1,69 V$$

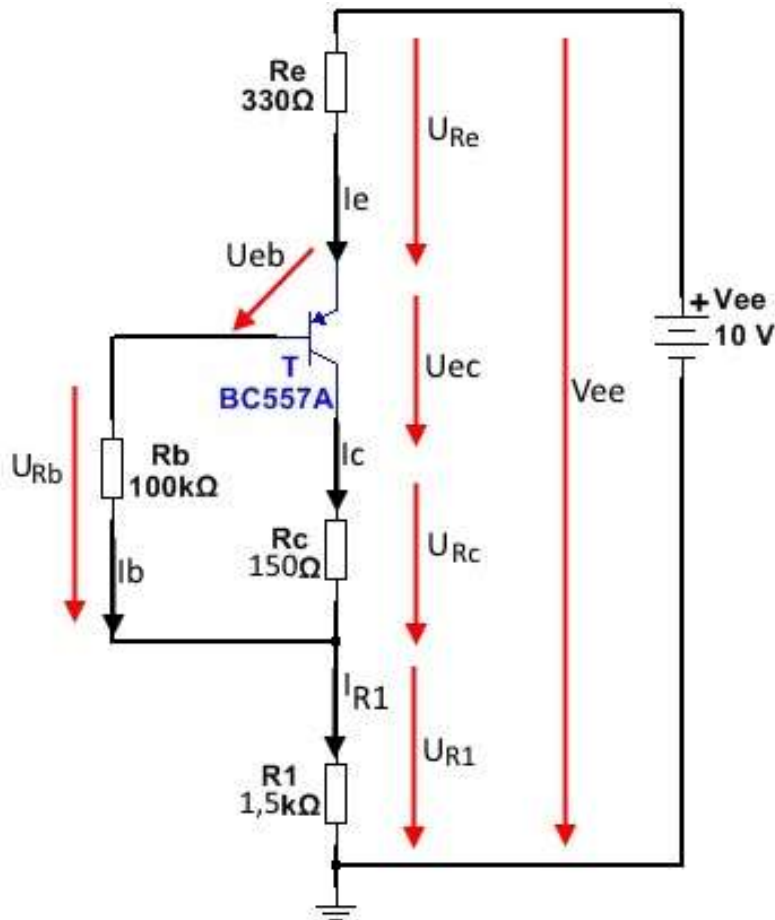
Deoarece $U_b > U_e \Rightarrow$ joncțiunea bază-emitor este polarizată direct

Deoarece $U_b < U_c \Rightarrow$ joncțiunea bază-colector este polarizată invers

Tranzistorul funcționează în regim activ normal deoarece joncțiunea bază-emitor este polarizată direct iar joncțiunea bază-colector este polarizată invers.

PROBLEMA 8.

În circuitul din figura 5.61 se cunosc valorile: $U_{be} = 0,7 V$ și $\beta = 230$



Se cere:

a. Valorile parametrilor ce caracterizează punctul static de funcționare al tranzistorului.

b. Să se determine regimul de funcționare al tranzistorului.

Figura 5.61 Tranzistor bipolar PNP polarizat cu reacție în colector

REZOLVARE

a. Parametrii care caracterizează PSF sunt: I_b , I_c , U_{ce} .

Pe ochiul format de : V_{ee} , U_{Re} , U_{eb} , U_{Rb} , U_{R1} se aplică T2 Kirchhoff:

$$V_{ee} = U_{Re} + U_{eb} + U_{Rb} + U_{R1} \Rightarrow U_{Re} + U_{Rb} + U_{R1} = V_{cc} - U_{eb} \quad (1)$$

Aplicând T1 Kirchhoff în nodul dintre R_c și $R_1 \Rightarrow I_{R1} = I_c + I_b \quad (2)$

$$U_{Re} = R_e \cdot I_e ; U_{Rb} = R_b \cdot I_b ; U_{R1} = R_1 \cdot I_{R1} = R_1 \cdot (I_c + I_b) \quad (3)$$

$$I_c = \beta \cdot I_b ; I_e = (\beta + 1) \cdot I_b \quad (4)$$

Înlocuind relațiile (3) și (4) în relația (1) se obține:

$$R_e \cdot (\beta + 1) \cdot I_b + R_b \cdot I_b + R_1 \cdot (\beta \cdot I_b + I_b) = V_{cc} - U_{eb} \quad (5)$$

$$I_b \cdot [R_e \cdot (\beta + 1) + R_b + R_1 \cdot (\beta + 1)] = V_{cc} - U_{eb} \quad (6)$$

$$I_b = \frac{V_{cc} - U_{eb}}{R_e \cdot (\beta + 1) + R_b + R_1 \cdot (\beta + 1)} \quad (7)$$

$$I_b = \frac{10V - 0,7V}{330\Omega \cdot (230 + 1) + 100K\Omega + 1,5K\Omega \cdot (230 + 1)}$$

$$I_b = \frac{9,3}{330 \cdot 231 + 100000 + 1500 \cdot 231} = \frac{9,3}{76230 + 100000 + 346500}$$

$$I_b = \frac{9,3}{522730} = 0,0000177 A = 17,7 \mu A \Rightarrow I_b = 17,7 \mu A$$

Înlocuind valoarea lui I_b în relațiile (4) și (2) se obține:

$$I_c = 230 \cdot 17,7 \mu A = 4071 \mu A = 4,07 mA \Rightarrow I_c = 4,07 mA$$

$$I_e = (230 + 1) \cdot 17,7 \mu A = 4089 \mu A = 4,09 mA \Rightarrow I_e = 4,09 mA$$

$$I_{R1} = 4,07 mA + 17,7 \mu A = 4,08 mA \Rightarrow I_{R1} = 4,08 mA$$

Pe ochiul format de : $V_{ee}, U_{Re}, U_{ec}, U_{Rc}, U_{R1}$ se aplică T2 Kirchhoff:

$$V_{ee} = U_{Re} + U_{ec} + U_{Rc} + U_{R1} \Rightarrow U_{ec} = V_{ee} - (U_{Re} + U_{Rc} + U_{R1}) \quad (8)$$

$$U_{ec} = 10V - (330\Omega \cdot 4,09mA + 150\Omega \cdot 4,07mA + 1,5K\Omega \cdot 4,08mA)$$

$$U_{ec} = 10 - (330 \cdot 4,09 \cdot 10^{-3} + 150 \cdot 4,07 \cdot 10^{-3} + 1,5 \cdot 10^3 \cdot 4,08 \cdot 10^{-3})$$

$$U_{ec} = 10 - (1,35 + 0,61 + 6,12) = 10 - 8,08 = 1,93 \Rightarrow U_{ec} = 1,92 V$$

Parametrii caracteristici punctului static de funcționare al tranzistorului sunt:

$$I_b = 17,7 \mu A ; I_c = 4,07 mA ; U_{ec} = 1,92 V$$

b. Pentru determinarea regimului de funcționare se determină tensiunile în Emitor, Bază, Colector și se observă cum sunt polarizate joncțiunile EB și EC.

$$U_c = U_{Rc} + U_{R1} ; U_e = V_{ee} - U_{Re} ; U_b = U_e - U_{eb} \quad (9)$$

$$U_e = 10 - 1,35 = 8,65 \Rightarrow U_e = 8,65 V$$

$$U_b = 8,65 - 0,7 = 7,95 \Rightarrow U_b = 7,95 V$$

$$U_c = 0,61 + 6,12 = 6,73 V \Rightarrow U_c = 6,73 V$$

Deoarece $U_e > U_b \Rightarrow$ joncțiunea emitor-bază este polarizată direct

Deoarece $U_c < U_b \Rightarrow$ joncțiunea colector-bază este polarizată invers

Tranzistorul funcționează în regim activ normal.

5.6. FORMULE DE BAZĂ UTILIZATE ÎN CIRCUITELE CU TRANZISTOARE

Formule utilizate în circuite cu tranzistoare de tip NPN cu emitorul comun.

$$(1) I_E = I_C + I_B \quad (2) I_C = \beta \cdot I_B \quad (3) I_E = (\beta + 1) \cdot I_B$$

$$(4) I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \quad (5) I_{C(max)} = \frac{P_{D(max)}}{V_{CE}}$$

$$(6) I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C} \quad (7) I_{B(min)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta}$$

$$(8) V_{BE} = (0,6 \dots 0,7) V \quad (9) V_{CE(blocare)} = V_{CC}$$

$$(10) V_{CE} = V_{CC} - R_C \cdot I_C - R_E \cdot I_E \quad (11) V_{CB} = V_{CE} - V_{BE}$$

Formule utilizate în circuite de polarizare a bazei din Vcc.

$$(12) V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C$$

$$(13) I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_b}$$

$$(14) I_C = \beta_{CC} \cdot \left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_b} \right)$$

Formule utilizate în circuite de polarizare a bazei prin divizor de tensiune.

$$(15) V_B = \left(\frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} \right) \cdot V_{CC} \quad (16) V_B = V_{BE} + V_{R_E}$$

$$(17) I_C \cong I_E = \frac{V_B - V_{BE}}{R_E}$$

$$(18) V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot (R_C + R_E) \quad (19) V_C = V_{CC} - R_C \cdot I_C$$

$$(20) I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \quad (21) V_{CE(blocare)} = V_{CC}$$

Formule utilizate în circuite de polarizare cu două surse de tensiune.

$$(22) I_C \cong I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_B}{\beta_{CC}}}$$

$$(23) V_{CE} = V_{CC} + V_{EE} - I_C(R_C + R_E)$$

$$(24) V_E = -V_{EE} + I_E \cdot R_E$$

$$(25) V_B = V_E + V_{BE}$$

$$(26) V_C = V_{CC} - I_C \cdot R_C$$

$$(27) I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{EE}}{R_C + R_E}$$

$$(28) V_{CE(blocare)} = V_{CC} + V_{EE}$$

Formule utilizate în circuite de polarizare cu reacție în colector.

$$(29) I_b = \frac{V_{CC} - U_{be}}{R_c \cdot \beta + R_b}$$

$$(30) I_c = \frac{V_{CC} - U_{be}}{R_c + \frac{R_b}{\beta}} \quad (31) I_c = \beta \cdot I_B$$

$$(32) U_{ce} = V_{CC} - R_c \cdot I_c$$