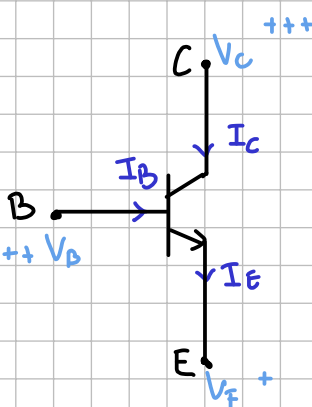
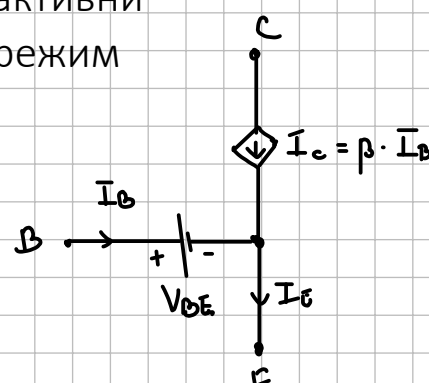
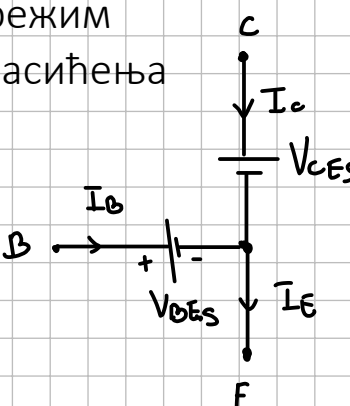
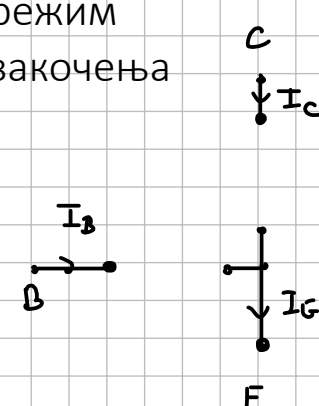
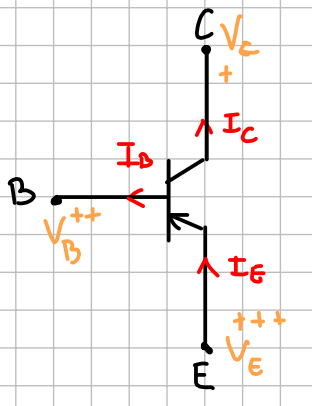
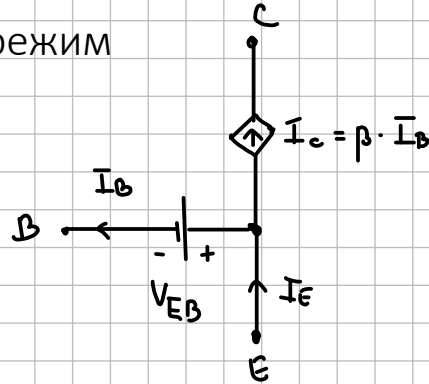
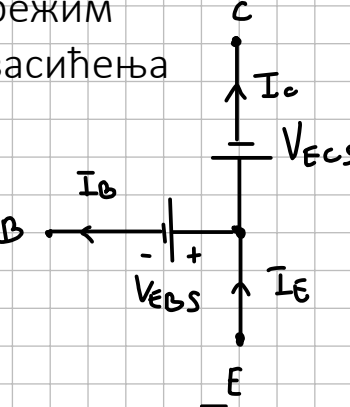
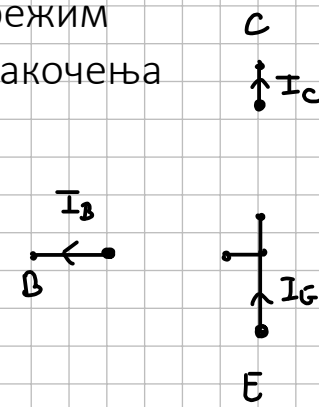
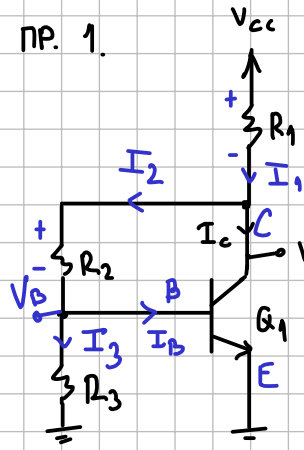


DC анализа кола са биполарним транзисторима (BJT)

NPN	активни режим	режим засићења	режим закочења
	 $I_C = \beta \cdot I_B$ $V_B - V_E = V_{BE} (\approx 0.7V)$ $I_E = I_C + I_B = (\beta + 1) I_B$ $V_C - V_E > V_{CEs}$	 $I_C < \beta \cdot I_B$ $V_B - V_E = V_{BEs}$ $I_E = I_C + I_B$ $V_C - V_E = V_{CEs} (\approx 0.2V)$	 $I_B = I_C = I_E = 0$ $V_B - V_E < V_{BE}$
	 $I_C = \beta \cdot I_B$ $V_E - V_B = V_{EB} (\approx 0.7V)$ $I_E = I_C + I_B = (\beta + 1) I_B$ $V_E - V_C > V_{Ecs}$	 $I_C < \beta \cdot I_B$ $V_E - V_B = V_{EBs}$ $I_E = I_C + I_B$ $V_E - V_C = V_{Ecs} (\approx 0.2V)$	 $I_B = I_C = I_E = 0$ $V_E - V_B < V_{EB}$

Пр. 1.



$$R_1 = 4.3 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 22 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 2 \text{ k}\Omega$$

$$V_{CC} = 12 \text{ V}$$

$$I_C = ? \quad V_C = ?$$

$$V_{BE} = 0.7 \text{ V}$$

$$\beta = 100$$

Оваква кола се могу решити методом потенцијала чворова, али је анализа обично компликована. Често је боље решити коло само коришћењем основних закона и познавањем режима рада транзистора.

Идеја 1: Познавајући следеће две основне чињенице, врло лако можемо доћи до неких струја/напона у колу:

$$V_B - V_E = V_{BE} = 0.7 \text{ V}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

$$V_E = 0 \Rightarrow V_B = 0.7 \text{ V}$$

$$I_3 = \frac{V_B}{R_3} = 0.35 \text{ }\mu\text{A}$$

Идеја 2: изразити што више непознатих струја преко неке струје за коју претпостављамо да ће имати најмању вредност. Обично је то нека струја базе. Овиме се обично цео систем једначина своди на само једну непознату:

$$\text{B: } I_2 - I_3 - I_B = 0 \Rightarrow I_2 = I_3 + I_B$$

$$\text{C: } I_1 - I_2 - I_C = 0$$

$$\Rightarrow I_1 = I_2 + I_C = I_3 + I_B + \beta \cdot I_B = I_3 + (\beta + 1) \cdot I_B$$

Идеја 3: Ако смо све непознате струје изразили преко једне, можемо одабрати било која два позната напона у колу и за њих написати једначину по другом Кирхофовом закону како бисмо одредили ту струју. Знајући ту струју, можемо да израчунамо све остале величине у колу:

$$V_{CC} - V_B = R_1 \cdot I_1 + R_2 \cdot I_2$$

$$= R_1 \cdot (I_3 + (\beta + 1) \cdot I_B) + R_2 \cdot (I_3 + I_B)$$

$$= [(\beta + 1) \cdot R_1 + R_2] \cdot I_B + (R_1 + R_2) \cdot I_3$$

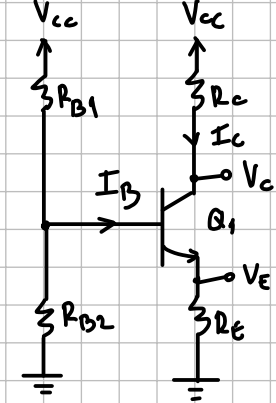
$$\Rightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_B - (R_1 + R_2) \cdot I_3}{(\beta + 1) \cdot R_1 + R_2} = 4.591 \text{ }\mu\text{A}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 0.459 \text{ mA}$$

$$V_{CC} - V_C = R_1 \cdot I_1$$

$$I_1 = I_3 + (\beta + 1) \cdot I_B \approx 0.814 \text{ mA} \Rightarrow V_C = V_{CC} - R_1 \cdot I_1 \approx 8.5 \text{ V}$$

Пр. 2.

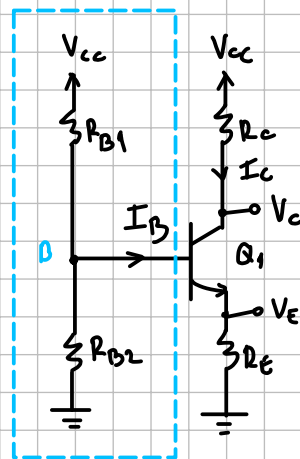


$R_{B1} = R_{B2} = 10 \text{ k}\Omega$
 $R_C = 5.1 \text{ k}\Omega$
 $R_E = 4.3 \text{ k}\Omega$
 $V_{CC} = 12 \text{ V}$

$Q_1: V_{BE} = 0.7 \text{ V}$
 $\beta = 100$

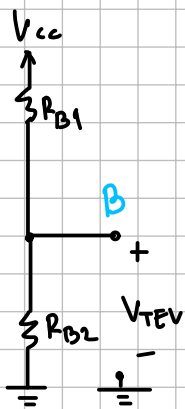
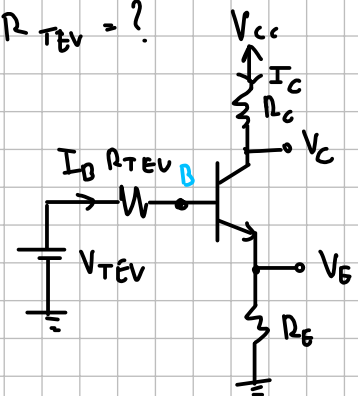
$I_C = ? \quad V_C = ? \quad V_E = ?$

Идеја 4: Некад је могуће упростити коло како би се број једначина смањило. Овде се може употребити Тевененова теорема.



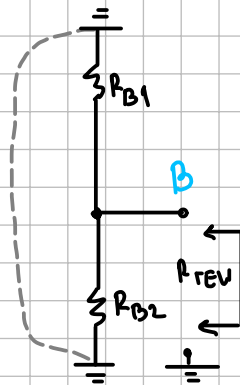
$V_{TEV} = ?$

$R_{TEV} = ?$



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

$V_{TEV} = \frac{1}{2} V_{CC} = 6 \text{ V}$



$R_{TEV} = R_{B1} \parallel R_{B2}$

$R_{TEV} = \frac{R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{R_{B1}}{2} = 5 \text{ k}\Omega$

$V_B - V_E = V_{BE} = 0.7 \text{ V}$

$V_E = R_E \cdot I_E = (\beta + 1) R_E \cdot I_B$

$V_B = V_{BE} + V_E$

$V_{TEV} - V_B = R_{TEV} \cdot I_B$

$V_{TEV} - V_{BE} - (\beta + 1) R_E \cdot I_B = R_{TEV} \cdot I_B$

$I_B = \frac{V_{TEV} - V_{BE}}{R_{TEV} + (\beta + 1) \cdot R_E} = 12.065 \text{ }\mu\text{A}$

$I_C = \beta \cdot I_B \approx 1.21 \text{ mA}$

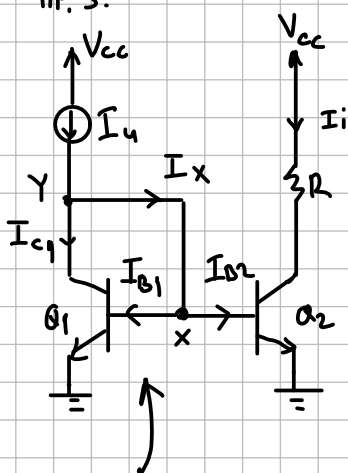
$V_C = V_{CC} - R_C \cdot I_C \approx 5.829 \text{ V}$

$V_E = R_E \cdot I_E \approx 5.23 \text{ V}$

$I_E = (\beta + 1) \cdot I_B \approx 1.22 \text{ mA}$

Струјно огледало:

пр. 3.



$$\frac{I_i}{I_u} = ? \quad \left(\begin{array}{l} \beta_1 = \beta_2 \\ V_{BE1} = V_{BE2} \\ V_{A1} = V_{A2} \end{array} \right) \text{ идентични транзистори } \quad (Q_1 \equiv Q_2)$$

Q1 - диодно повезан
BJT

Идеја 5: Ако су спојеви база-емитор два транзистора паралелно везани и ако су транзистори идентични, онда важи:

$$\begin{array}{l} I_{B1} = I_{B2} \\ I_{C1} = I_{C2} \\ I_{E1} = I_{E2} \end{array}$$

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta$$

$$I_i = I_{C2} = \beta \cdot I_{B2}$$

$$X: I_x = I_{B1} + I_{B2} = 2 I_{B2}$$

$$Q_1 \equiv Q_2 \Rightarrow I_{B1} = I_{B2} \quad Y: I_u = I_x + I_{C1} = 2 I_{B2} + \beta \cdot I_{B2}$$

$$I_{C1} = \beta \cdot I_{B1} = \beta \cdot I_{B2}$$

$$\Rightarrow I_u = (\beta + 2) \cdot I_{B2} \Rightarrow I_{B2} = \frac{I_u}{\beta + 2}$$

$$I_i = \beta \cdot I_{B2} = \beta \cdot \frac{I_u}{\beta + 2} \Rightarrow \frac{I_i}{I_u} = \frac{\beta}{\beta + 2}$$

$$\frac{I_i}{I_u} = \frac{\beta}{\beta + 2}$$

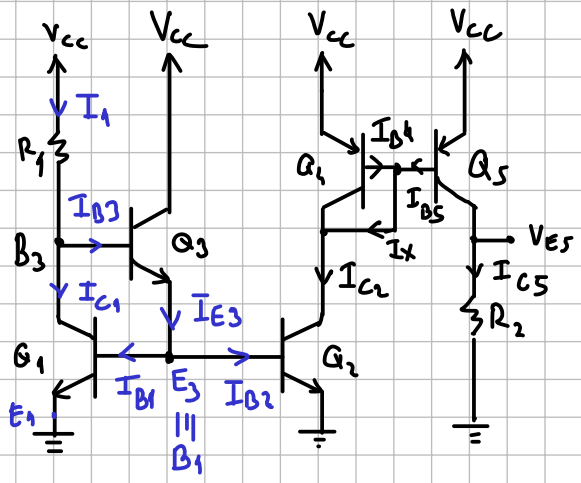
Идеја 6: Ову чињеницу можемо користити када у задатку препознамо да постоји струјно огледало, како бисмо лако изразили једну струју преко друге

Ако β има велику вредност (200, 400, ...), важи:

$$\beta \gg 2 \Rightarrow \frac{I_i}{I_u} \approx 1$$

TP. 4.

$I_{C2} = ? \quad V_{E5} = ?$



$R_1 = R_2 = 10k\Omega$
 $V_{cc} = 10V$

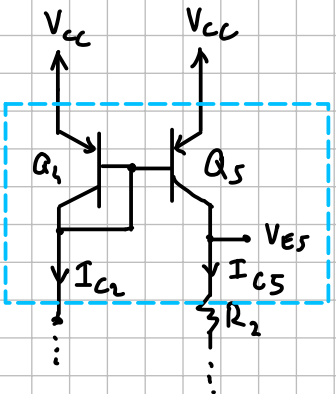
- NPN: $V_{BE1} = V_{BE2} = V_{BE3} = 0.6V$
- PNP: $V_{EB4} = V_{EB5} = 0.7V$
- $\beta_1 = \beta_2 = 100 \quad \beta_3 = 80$
- $\beta_4 = \beta_5 = 60$

$I_{B1} = I_{B2} \quad (Q_1 \equiv Q_2)$
 $I_{E3} = I_{B1} + I_{B2} = 2I_{B2}$
 $I_{E3} = (\beta_3 + 1) \cdot I_{B3}$
 $\Rightarrow I_{B3} = \frac{2}{\beta_3 + 1} \cdot I_{B2}$

$I_{C1} = \beta_1 \cdot I_{B1} = \beta_1 \cdot I_{B2}$
 $I_1 = I_{B3} + I_{C1} = \left(\frac{2}{\beta_3 + 1} + \beta_1 \right) \cdot I_{B2}$

$V_{B3} = V_{BE3} + V_{E3}$
 $V_{E3} = V_{B1} = V_{BE1} + V_{E1}$
 $V_{E1} = 0 \Rightarrow V_{B3} = V_{BE3} + V_{BE1} = 2V_{BE1} = 1.2V$
 $I_1 = \frac{V_{cc} - V_{B3}}{R_1} = \frac{V_{cc} - 2V_{BE1}}{R_1} = 0.88mA$

$I_{B2} = \frac{I_1}{\frac{2}{\beta_3 + 1} + \beta_1} \approx 8.798\mu A \Rightarrow I_{C2} = \beta_2 \cdot I_{B2} \approx 0.8798mA$



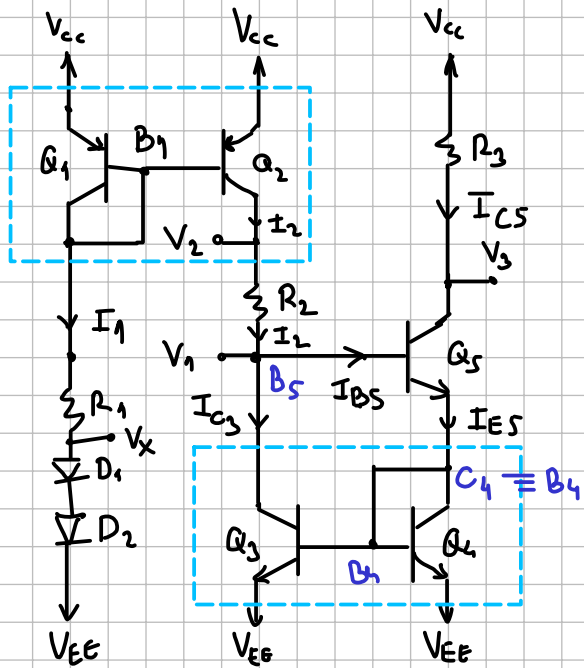
\Rightarrow Q4 и Q5 чине струјно огледало:

$\hookrightarrow \frac{I_{C5}}{I_{C2}} = \frac{\beta_{4,5}}{\beta_{4,5} + 2} \Rightarrow I_{C5} = \frac{\beta_{4,5}}{\beta_{4,5} + 2} \cdot I_{C2} \approx 0.85mA$

$V_{E5} = R_2 \cdot I_{C5} \approx 8.514V$

ПРС .

$$V_1 = ? \quad V_2 = ? \quad V_3 = ?$$



$Q_1 \equiv Q_2 \leftarrow$ струјно огледало

$Q_3 \equiv Q_4 \leftarrow$ струјно огледало

$$V_1 - V_{EE} = 2V_{BE} = 1.4V$$

$$V_1 = V_{EE} + 2V_{BE} = -8.6V$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{\beta_{1,2}}{\beta_{1,2} + 2}$$

$$V_{D1} = V_{CC} - V_{EB1} = 9.3V$$

$$V_x = V_{EE} + 2V_{D0} = -8.8V$$

$$I_1 = \frac{V_{D1} - V_x}{R_1} = 1.81 mA$$

$$I_1 = \frac{V_{CC} - V_{EB} - (2V_{D0} + V_{EE})}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{\beta_{1,2}}{\beta_{1,2} + 2} \cdot I_1 \approx 1.77 mA$$

$$V_2 = V_1 + R_2 \cdot I_2 \approx 0.25V$$

$$V_{CC} = -V_{EE} = 10V \quad V_{D0} = 0.6V$$

$$R_1 = 10k\Omega \quad R_2 = 5k\Omega \quad R_3 = 5k\Omega$$

$$V_{D0} = V_{EB, npn} = 0.7V \quad \beta = 100$$

$$I_2 = I_{C3} + I_{B5}$$

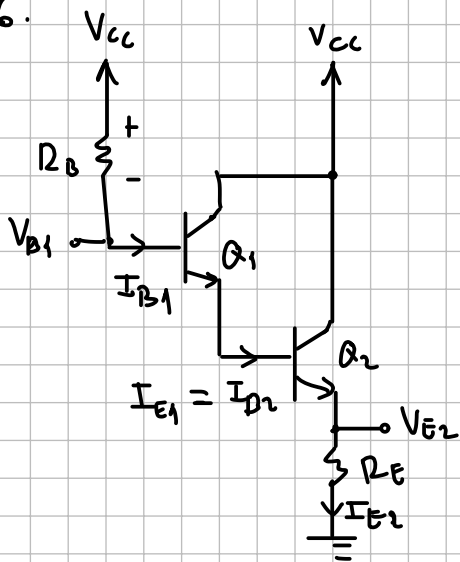
$$\frac{I_{C3}}{I_{E5}} = \frac{\beta_{3,4}}{\beta_{3,4} + 2} \Rightarrow I_{C3} = \frac{\beta_{3,4}}{\beta_{3,4} + 2} \cdot I_{E5} = \frac{\beta_{3,4}}{\beta_{3,4} + 2} \cdot (\beta_5 + 1) \cdot I_{B5}$$

$$\Rightarrow I_2 = \frac{\beta_{3,4}}{\beta_{3,4} + 2} \cdot (\beta_5 + 1) \cdot I_{B5} + I_{B5}$$

$$\Rightarrow I_{B5} = \frac{I_2}{1 + \frac{\beta_{3,4}}{\beta_{3,4} + 2} \cdot (\beta_5 + 1)} \approx 17.696 \mu A \Rightarrow I_{C5} = \beta_5 \cdot I_{B5} \approx 1.77 mA$$

$$V_3 = V_{CC} - R_3 \cdot I_{C5} \approx 1.15V$$

Др. 6.



Q1 и Q2 чине Дарлингтонов spoj)

$$V_{E2} = ? \quad V_{B1} = ?$$

$$V_{E2} = R_E \cdot I_{E2} = R_E \cdot (\beta_2 + 1) \cdot I_{B2}$$

$$I_{E1} = I_{B2}$$

$$I_{E1} = (\beta_1 + 1) \cdot I_{B1}$$

$$I_{E2} = (\beta_2 + 1) \cdot I_{B2} = (\beta_2 + 1) (\beta_1 + 1) \cdot I_{B1}$$

$$V_{CC} = R_B \cdot I_{B1} + V_{BE} + V_{BE} + R_E \cdot I_{E2}$$

$$V_{CC} = [R_B + R_E (\beta_2 + 1) (\beta_1 + 1)] \cdot I_{B1} + 2V_{BE}$$

$$\Rightarrow I_{B1} = \frac{V_{CC} - 2V_{BE}}{R_B + (\beta_2 + 1) (\beta_1 + 1) R_E} = \dots$$

$$\Rightarrow \begin{cases} V_{B1} = V_{CC} - R_B \cdot I_{B1} \\ V_{E2} = V_{B1} - 2V_{BE} \end{cases}$$