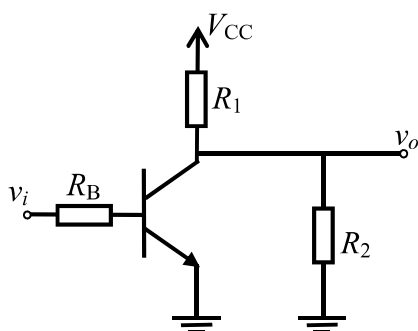


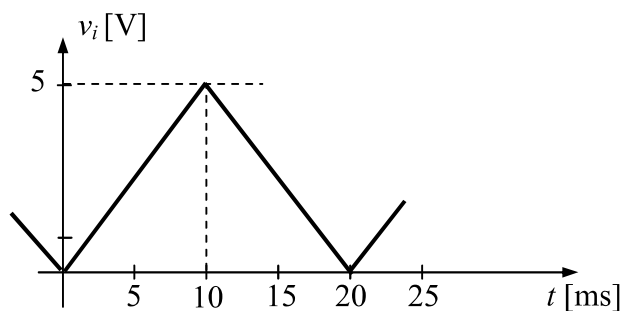
3. На влезот на колото прикажано на сликата а), е донесен периодичен триаголен сигнал $v_i(t)$ чија временска форма е прикажана на сликата б). Да се скицира временската форма (за една периода) на излезниот сигнал $v_o(t)$.

$$V_{CC} = 12 \text{ V}; \quad R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega; \quad R_B = 22 \text{ k}\Omega; \quad V_{BE,ON} = 0,7 \text{ V}; \quad V_{CE,SAT} = 0,2 \text{ V}; \quad \beta = 100;$$

Бонус (4п/6п): Да се одреди максималната вредност на отпорникот R_1 за која транзисторот воопшто нема да се најде во подрачјето на заситување (при ниту една вредност на овој конкретен влезен сигнал)



Слика а)

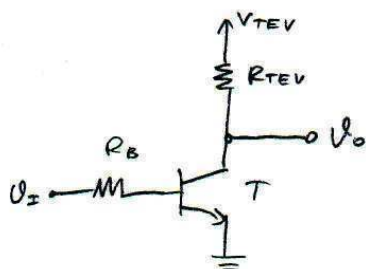


Слика б)

Решение: А)

$$V_{TEV} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = 6 \text{ V}$$

$$R_{TEV} = R_1 \parallel R_2 = 0,5 \text{ k}\Omega$$

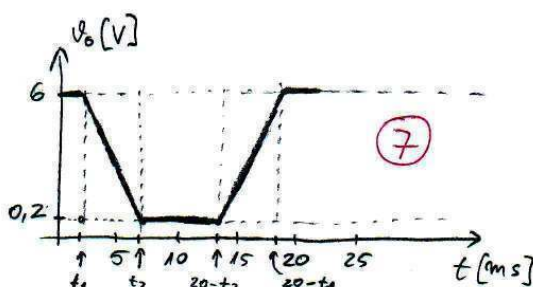


Корд $T \rightarrow \text{OFF}$

$$v_o = V_{TEV} = 6 \text{ V} \quad (2)$$

Корд $T \rightarrow \text{SAT}$

$$v_o = V_{CE,SAT} = 0,2 \text{ V} \quad (2)$$



Граница OFF/NAP: $V_{BE} = V_{BE,ON}$; $I_C, I_E, I_R = 0$

$$v_i = R_B \cdot I_E + V_{BE} = V_{BE,ON} = 0,7 \text{ V} \quad (3)$$

Граница NAP/SAT: $I_C = \beta I_B$; $V_{CE} = V_{CE,SAT}$
 $V_{BE} = V_{BE,ON}$

$$I_{C,SAT} = \frac{V_{TEV} - V_{CE,SAT}}{R_{TEV}} = 11,6 \text{ mA}$$

$$I_{B,EOS} = I_{C,SAT} / \beta = 116 \text{ }\mu\text{A}$$

$$v_i = R_B \cdot I_{B,EOS} + V_{BE,ON} = 3,25 \text{ V} \quad (7)$$

Од сличните триаголници:

$$\frac{10 \text{ ms}}{5 \text{ V}} = \frac{t_1}{0,7 \text{ V}} \Rightarrow t_1 = 1,4 \text{ ms} \quad (2)$$

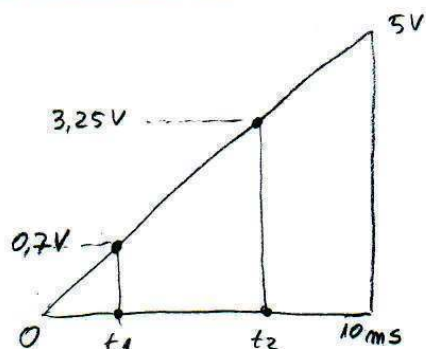
$$\frac{10 \text{ ms}}{5 \text{ V}} = \frac{t_2}{3,25 \text{ V}} \Rightarrow t_2 = 6,5 \text{ ms} \quad (2)$$

Бонус: За $T \rightarrow \text{SAT}$, треба гр. NAP/SAT да е на 5 V

$$5 \text{ V} = R_B \cdot I_{B,EOS} + V_{BE,ON} \Rightarrow I_{B,EOS} = 195 \text{ }\mu\text{A}$$

$$I_{C,SAT} = I_{B,EOS} \cdot \beta = 19,5 \text{ mA} = \frac{V_{CC} - V_{CE,SAT}}{R_1} - \frac{V_{CE,SAT}}{R_2}$$

$$\Rightarrow R_1 = \frac{12 \text{ V} - 0,2 \text{ V}}{19,7 \text{ mA}} \approx 598 \text{ }\Omega \quad \left(\begin{array}{l} \text{всушност} \\ R_1 \leq 598 \text{ }\Omega \end{array} \right)$$



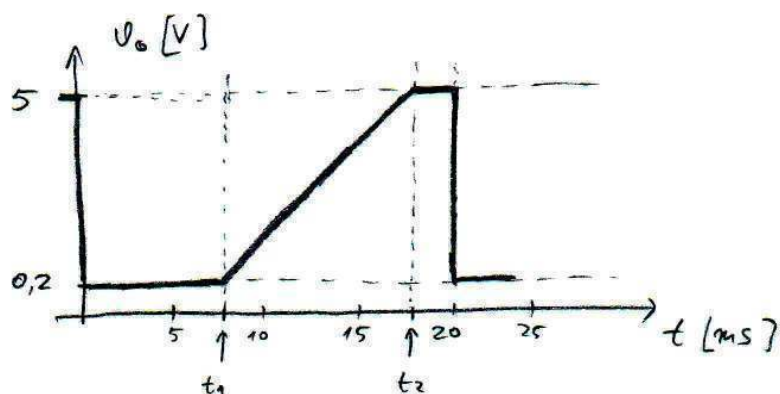
Б) NAP/OFF $U_I = 0,7 \text{ V}$
 NAP/SAT $U_I = 2,8 \text{ V}$

Больш:

$$R_1 \leq 496 \Omega$$

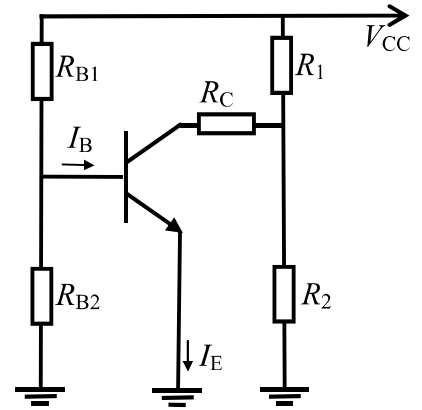
$$t_1 (z_2 U_I = 2,8 \text{ V}) = 8,8 \text{ ms}$$

$$t_2 (z_2 U_I = 0,7 \text{ V}) = 17,2 \text{ ms}$$



2. Да се одреди опсегот на вредности на отпорникот R_{B2} за транзисторот да работи во подрачјето на заситување.

$$\begin{aligned} R_1 &= 3,3 \text{ k}\Omega; & R_2 &= 15 \text{ k}\Omega; & R_{B1} &= 47 \text{ k}\Omega; & R_C &= 1 \text{ k}\Omega; \\ \beta_N &= 100; & V_{BE,ON} &= 0,7 \text{ V}; & V_{CE,SAT} &= 0,2 \text{ V} \\ V_{CC} &= 10 \text{ V} \end{aligned}$$



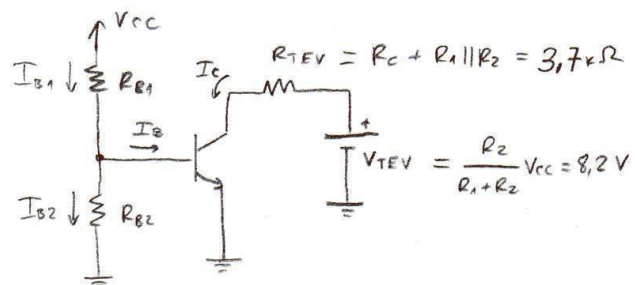
Решение:

Подрачје SAT :

$$V_{BE} = V_{BE,ON} = 0,7 \text{ V}$$

$$V_{CE} = V_{CE,SAT} = 0,2 \text{ V}$$

$$I_C \leq \beta \cdot I_B$$



$$I_C = \frac{V_{TEV} - V_{CE,SAT}}{R_{TEV}} = 2,16 \text{ mA} \quad (5)$$

$$I_B = I_{B1} - I_{B2} = \frac{V_{CC} - V_{BE,ON}}{R_{B1}} - \frac{V_{BE,ON}}{R_{B2}} \quad (5)$$

$$I_B \geq \frac{I_C}{\beta} = 21,6 \text{ }\mu\text{A} \quad (5)$$

$$\Rightarrow \frac{10 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{47 \text{ k}\Omega} - \frac{0,7 \text{ V}}{R_{B2}} \geq 21,6 \text{ }\mu\text{A}$$

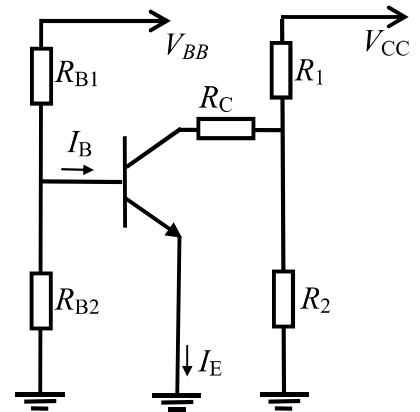
$$\Rightarrow 198 \text{ }\mu\text{A} - 21,6 \text{ }\mu\text{A} \geq \frac{0,7 \text{ V}}{R_{B2}}$$

$$\Rightarrow R_{B2} \geq \frac{0,7 \text{ V}}{176 \text{ }\mu\text{A}}$$

$$\Rightarrow \boxed{3,98 \text{ k}\Omega \leq R_{B2} \leq \infty} \quad (5)$$

2. Да се одреди опсегот на вредности на изворот V_{BB} за транзисторот да работи во подрачјето NAP.

$$\begin{aligned} R_1 &= 10 \text{ k}\Omega; & R_2 &= 15 \text{ k}\Omega; & R_{B1} &= 100 \text{ k}\Omega; & R_{B2} &= 100 \text{ k}\Omega; \\ R_C &= 1 \text{ k}\Omega; & \beta_N &= 100; & V_{BE,ON} &= 0,7 \text{ V}; & V_{CE,SAT} &= 0,2 \text{ V} \\ V_{CC} &= 12 \text{ V} \end{aligned}$$

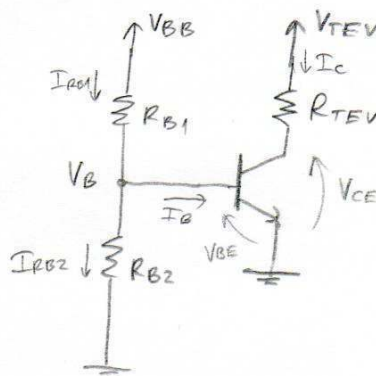


Решение:

Применуваме теорема на Тевенена само на колекторското коло:

$$V_{TEV} = V_{CC} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 7,2 \text{ V}$$

$$R_{TEV} = R_C + R_1 \parallel R_2 = 7 \text{ k}\Omega$$



Граница OFF/NAP : $V_{BE} = V_{BE,ON}$; $I_C = I_B = I_E = 0$

$$\left. \begin{aligned} V_B &= V_{BE} = V_{BE,ON} \\ V_B &= V_{BB} \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow V_{BB} = \frac{R_{B1} + R_{B2}}{R_{B2}} \cdot V_{BE,ON} = 1,4 \text{ V} \quad (V_{BB,MIN})$$

Граница NAP/SAT : $V_{BE} = V_{BE,ON}$; $I_C = \beta \cdot I_B$; $V_{CE} = V_{CE,SAT}$

$$I_C = \frac{V_{TEV} - V_{CE,SAT}}{R_{TEV}} = 1 \text{ mA} \Rightarrow I_B = \frac{I_C}{\beta} = 10 \mu\text{A}$$

$$V_{BB} = V_{BE,ON} + R_{B1} \cdot I_{RB1} = V_{BE,ON} + R_{B1} \cdot (I_{RB2} + I_B)$$

$$V_{BB} = V_{BE,ON} + R_{B1} \cdot \left(\frac{V_{BE,ON}}{R_{B2}} + I_B \right) = 2,4 \text{ V} \quad (V_{BB,MAX})$$

Зд $T \rightarrow \text{NAP}$, треба $V_{BB} = 1,4 \div 2,4 \text{ V}$

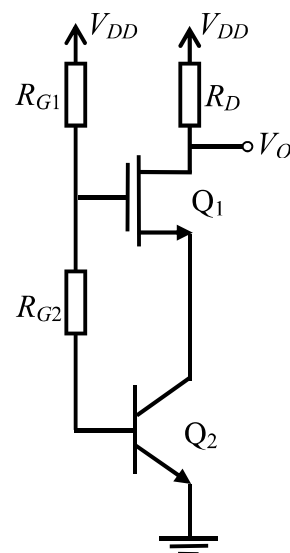
$$\Sigma = 25 \text{ n}$$

3. За колото прикажано на сликата да се одреди напонот V_O .

$$V_{DD} = 12 \text{ V}; \quad R_{G1} = R_{G2} = 100 \text{ k}\Omega; \quad R_D = 470 \text{ }\Omega;$$

$$\text{Q1: } k_n \cdot W/L = 1 \text{ mA/V}^2 \quad |V_{TH}| = 1 \text{ V}$$

$$\text{Q2: } V_{BE,ON} = 0,7 \text{ V}; \quad V_{CE,SAT} = 0,2 \text{ V}; \quad \beta = 100;$$



Решение:

Претпоставка: Q1 → PKS, Q2 → NAP

$$I_B = \frac{V_{DD} - V_{BE,ON}}{R_{G1} + R_{G2}} = 57 \text{ }\mu\text{A} \quad \Rightarrow \quad I_C = \beta \cdot I_B = 5,7 \text{ mA}$$

$$I_D = I_C \quad \Rightarrow \quad V_O = V_{DD} - R_D \cdot I_D = 9,3 \text{ V} \quad \text{10 п.}$$

Ова е решението на задачата, но за да важи треба да се проверат направените претпоставки:

$$I_D = k_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2 \quad \Rightarrow \quad V_{GS} = \sqrt{\frac{I_D L}{k_n W}} + V_{TH} = 3,4 \text{ V} \quad \text{5 п.}$$

$$V_G = V_{DD} - R_{G1} \cdot I_B = 6,3 \text{ V} \quad \text{4 п.}$$

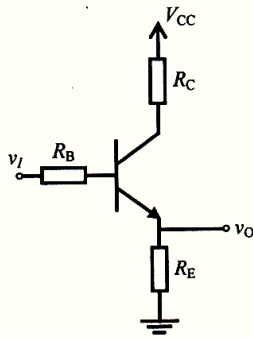
$$V_C = V_S = V_G - V_{GS} = 2,9 \text{ V}$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 2,9 \text{ V} \quad \Rightarrow \quad V_{CE} > V_{CE,SAT} \quad \text{3 п.} \quad \text{Т претп.}$$

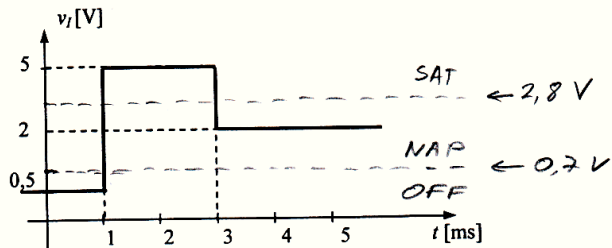
$$\left. \begin{array}{l} V_{DS} = V_O - V_S = 6,4 \text{ V} \\ V_{GS} - V_{TH} = 2,4 \text{ V} \end{array} \right\} \quad \Rightarrow \quad V_{DS} > V_{GS} - V_{TH} \quad \text{3 п.} \quad \text{Т претп.}$$

1. На влезот на колото прикажано на сликата а), е донесен сигналот $v_I(t)$ чија временска форма е прикажана на сликата б). Да се скицира временската форма на излезниот сигнал $v_O(t)$.

$V_{CC} = 5V$; $R_C = 4,7 k\Omega$; $R_B = 100 k\Omega$; $R_E = 100 \Omega$; $V_{BE,ON} = 0,7 V$; $V_{CE,SAT} = 0,2 V$; $\beta = 50$;



Слика а)



Слика б)

Решение:

Граници:

OFF/NAP $\Rightarrow I_B, I_C, I_E = 0$
 $V_{BE} = V_{BE,ON}$

$$V_I = R_B I_B + V_{BE} + R_E I_E$$

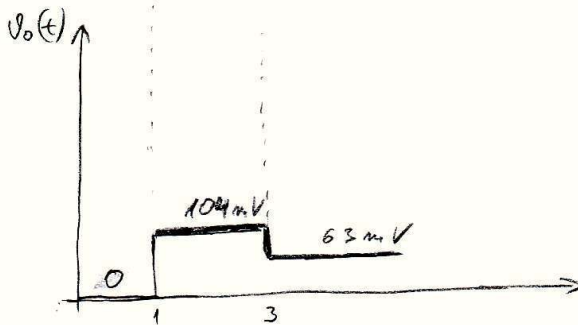
$$V_I \{ \text{OFF/NAP} \} = 0,7 V$$

NAP/SAT $\Rightarrow I_C = \beta \cdot I_B$
 $V_{CE} = V_{CE,SAT}$
 $V_{BE} = V_{BE,ON}$

$$V_{CC} = R_C \cdot \underbrace{\beta \cdot I_B}_{I_C} + V_{CE,SAT} + R_E \cdot \underbrace{(1+\beta) I_B}_{I_E}$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{CE,SAT}}{R_C \cdot \beta + R_E (1+\beta)} = 20 \mu A \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{НА ГРАНИЦА} \\ \text{NAP/SAT} \end{array} \right.$$

$$V_I \{ \text{NAP/SAT} \} = R_B I_B + V_{BE,ON} + R_E (1+\beta) I_B = 2,8 V$$



Ако $T \rightarrow \text{OFF}$; $I_B = I_C = I_E = 0 \Rightarrow v_O = 0$
 $v_I = 0,5 V$

Ако $T \rightarrow \text{NAP}$; $v_O = R_E \cdot (1+\beta) \cdot \underbrace{\frac{v_I - V_{BE,ON}}{R_B + (1+\beta) R_E}}_{I_B} = 63 mV$
 $v_I = 2 V$

Ако $T \rightarrow \text{SAT}$; $v_I = 5 V$; $V_{CC} = R_C \cdot I_C + V_{CE,SAT} + R_E I_E$
 $v_I = R_B \cdot I_B + V_{BE,ON} + R_E I_E$
 $I_E = I_C + I_B$ $\Rightarrow I_E = 1,04 mA$

$$v_O = R_E \cdot I_E = 104 mV$$

2. Да се одреди потребната вредност на отпорникот R_1 за излезниот напон да изнесува $V_O = 6V$. Направените претпоставки за подрачјата на работа да се докажуваат.

Познато е:

$$V_{DD} = 10V$$

$$|V_T| = 1V$$

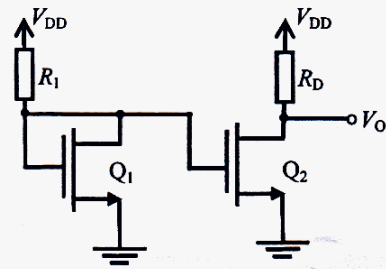
$$R_D = 1k\Omega$$

$$k_n = 1mA/V^2$$

$$W = 40\mu m$$

$$L_1 = 10\mu m$$

$$L_2 = 20\mu m$$



Решение: претп $Q_1, Q_2 \rightarrow PKC$

индуциран канал:

$$V_{TH} = 1V$$

$$I_{D2} = \frac{V_{DD} - V_O}{R_D} = 4mA$$

$$I_{D2} = \frac{1}{2} k_n \frac{W}{L_2} (V_{GS2} - V_{TH})^2 = \frac{1mA}{V^2} \cdot (V_{GS2} - V_{TH})^2 = 4mA$$

$$\Rightarrow V_{GS2} \rightarrow V_{GS2}' = 3V > V_{TH}$$

$$\rightarrow \cancel{V_{GS2}'' = -1V}$$

$$\Rightarrow \boxed{V_{GS2} = 3V}$$

$$V_{GS1} = V_{GS2} = 3V$$

$$\Rightarrow I_{D1} = \frac{1}{2} k_n \frac{W}{L_1} (V_{GS1} - V_{TH})^2 = \frac{2mA}{V^2} \cdot (3 - 1)^2 = 8mA$$

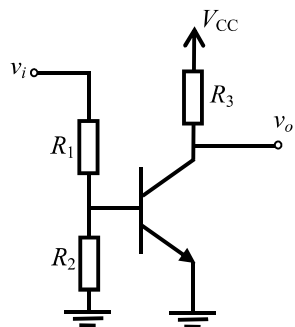
$$I_{R1} = I_{D1} = 8mA$$

$$V_{R1} = V_{DD} - V_{GS1} = 7V$$

$$\left. \begin{array}{l} I_{R1} = I_{D1} = 8mA \\ V_{R1} = V_{DD} - V_{GS1} = 7V \end{array} \right\} R_1 = \frac{V_{R1}}{I_{R1}} = 875\Omega$$

3. На влезот на колото прикажано на сликата е донесен сигналот $v_i(t)$ чија вредност се движи во опсег $1V - 10V$. Да се калибрира колото (отпорниците R_1 и R_3) така што транзисторот ќе се наоѓа во подрачјето NAP за сите вредности на влезниот напон.

$$V_{CC} = 12V; \quad R_2 = 10k\Omega; \quad V_{BE,ON} = 0,7V; \quad V_{CE,SAT} = 0,2V; \quad \beta = 50;$$



Бонус (5п): Ако $R_1 = 1k\Omega$ а $R_2 = 10M\Omega$, да се калибрира R_3 така што промена на влезниот напон за одредена вредност ќе предизвика исто толкава промена (по апсолутна вредност) на излезниот напон. $|\Delta v_o| = |\Delta v_i|$

Решение: $\Sigma = 15 \text{ поени} + 5 \text{ бонус поени} = 20 \text{ поени}$

За $T \rightarrow \text{NAP}$ за сите влезни напони $1 \div 10V$, треба да се обезбедат следните граници помеѓу поврзаниците:

→ Граница NAP/OFF за $v_i \leq 1V$

$$\left. \begin{array}{l} V_{BE} = V_{BE,ON} \\ I_B, I_C, I_E = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$I_{R2} = \frac{V_{BE,ON}}{R_2} = I_{R1} \quad (\text{бидејќи } I_E = 0)$$

$$v_i = I_{R1} R_1 + I_{R2} R_2 \leq 1V$$

$$\Rightarrow R_1 \leq 4,2857k\Omega \quad (2)$$

→ Граница NAP/SAT за $v_i \geq 10V$

$$\left. \begin{array}{l} V_{BE} = V_{BE,ON} \\ V_{CE} = V_{CE,SAT} \\ I_C = \beta \cdot I_B \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$I_{R1} = \frac{v_i - V_{BE,ON}}{R_1} \Rightarrow I_{R1} \geq 2,17mA$$

$$I_{R2} = \frac{V_{BE,ON}}{R_2} = 0,07mA$$

$$I_B = I_{R1} - I_{R2} \Rightarrow I_B \geq 2,1mA$$

$$I_C = \beta \cdot I_B \Rightarrow I_C \geq 105mA$$

$$R_3 = \frac{V_{CC} - V_{CE,SAT}}{I_C} \Rightarrow R_3 \leq 112\Omega \quad (7)$$

Бонус: $R_1 = 1k\Omega$ $R_2 = 10M\Omega$ $T \rightarrow \text{NAP}$ (мора!)

$$R_2 \gg R_1 \Rightarrow \text{ја занемаруваме } I_{R2} \Rightarrow I_{R1} = I_B$$

$$v_i = R_1 \cdot I_B + V_{BE,ON} \Rightarrow I_B = \frac{v_i - V_{BE,ON}}{R_1}$$

$$v_o = V_{CC} - R_3 I_C = V_{CC} - R_3 \cdot \beta \cdot I_B = V_{CC} - \frac{R_3 \cdot \beta}{R_1} (v_i - V_{BE,ON})$$

$$v_o = \text{const} - \frac{R_3 \cdot \beta}{R_1} v_i$$

$$\left| \frac{dv_o}{dv_i} \right| = \left| - \frac{R_3 \cdot \beta}{R_1} \right| = \frac{R_3 \cdot \beta}{R_1} = 1 \Rightarrow R_3 = \frac{R_1}{\beta} = 20\Omega \quad (5)$$