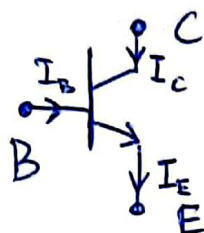


БИПОЛЯРНИ ТРАНЗИСТОРИ

- ПРЕДАЈ/КОМПОНЕНТА КОЈА ИМА 3 ПИНА/ПРИКЉУЧКА И ЧИЈА СЕ СТРУЈА/НАПОН/СНАГА КОНТРОЛИШУ СТРУЈОМ БАЗЕ
- ПРИМЈЕНА: ПРЕКИДАЧИ, ПОЈАЧАВАЧИ
- 2 РМ СПОЈА



$$I_C = I_{CS} \cdot e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

$$I_E = \frac{I_C}{\alpha} = \frac{\beta+1}{\beta} \cdot I_C$$

$$I_E = I_C + I_B$$

B → БАЗА

C → КОЛЕКТОР

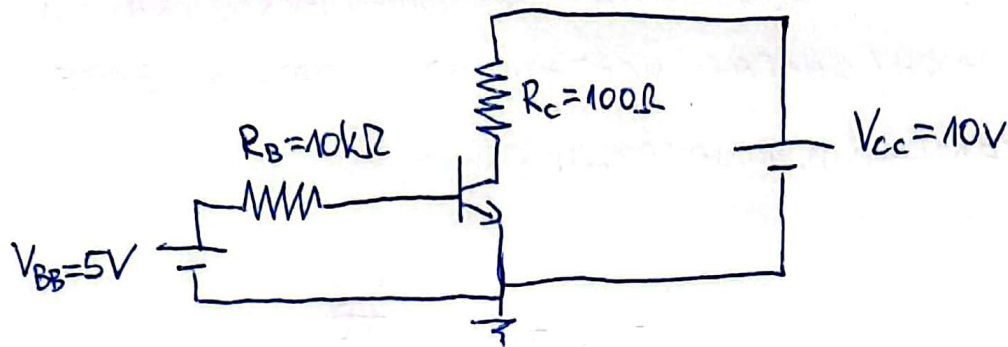
E → ЭМИТОР



- УЛАЗНА И ИЗЛАЗНА КАРАКТЕРИСТИКА ТРАНЗИСТОРА !

1) ОДРЕДИТИ $I_B, I_C, I_E, V_{BE}, V_{CE}, V_{CB}$ ЗА КОЈО ПРИКАЗАНО НА СЛИЦИ.

$$\beta = 150$$



РЕШЕЊЕ:

$$V_{BE} = 0,7V \Rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = 430\mu A$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 64,5\mu A$$

$$I_E = I_C + I_B = 64,9\mu A$$

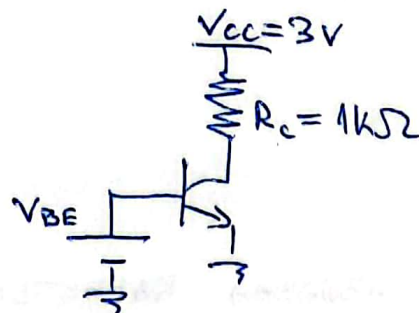
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C = 3,55V$$

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} = 3,55V - 0,7V = 2,85V$$

КОМЕНТАР

$$\Rightarrow I_C = \beta \cdot I_B + (\beta + 1) \cdot I_{CBO} \rightarrow 0$$

2) ОДРЕДИТИ ИЗРАЗНИ НАПОН ЗА КОЈО НА СЛИЦИ, ПРЕТПОСТАВИТИ ДА ЈЕ ТРАНЗИСТОР У АКТИВНОЈ ОБЛАСТИ, $I_S = 5 \cdot 10^{-16} A$, $V_{BE} = 750mV$, $V_T = 26mV$

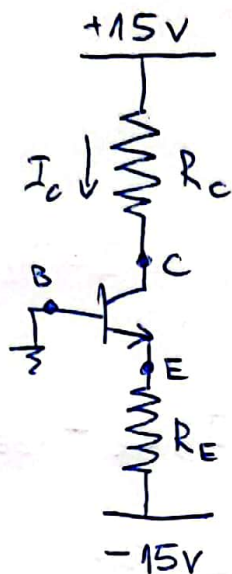


РЕШЕЊЕ:

$$I_C = I_S \cdot e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} = 5 \cdot 10^{-16} \cdot e^{\frac{750mV}{26mV}} = 1,68\mu A$$

$$V_o = V_{CC} - R_C I_C = 3 - 1 \cdot 10^3 \cdot 1,68 \cdot 10^{-6} = 1,31V$$

3) ТРАНЗИСТОР У КОЈИ СА СЛИКЕ ИМА $\beta = 100$ И $I_{C1} = 1 \text{ mA}$ СА $V_{BE1} = 0,7 \text{ V}$. ПРОЈЕКТОВАТИ КОЛО ТАКО ДА СТРАЈА КОЛЕКТОРА БУДЕ 2 mA И НАПОН НА КОЛЕКТОРУ 5 V .



РЕШЕЊЕ:

$$V_{R_C} = V_{CC} - V_C = 15 \text{ V} - 5 \text{ V} = 10 \text{ V}$$

$$R_C: \quad V_R = R_C \cdot I_{C2} \\ \Rightarrow R_C = \frac{V_R}{I_{C2}} = \frac{10 \text{ V}}{2 \text{ mA}} = 5 \text{ k}\Omega \quad \text{a)}$$

$$I_{C1} = 1 \text{ mA} \leftrightarrow V_{BE1} = 0,7 \text{ V}$$

$$I_{C2} = 2 \text{ mA} \leftrightarrow V_{BE2} = ?$$

$$\frac{I_{C1}}{I_{C2}} = \frac{I_S \cdot e^{\frac{V_{BE1}}{V_T}}}{I_S \cdot e^{\frac{V_{BE2}}{V_T}}} = e^{\frac{V_{BE1} - V_{BE2}}{V_T}}$$

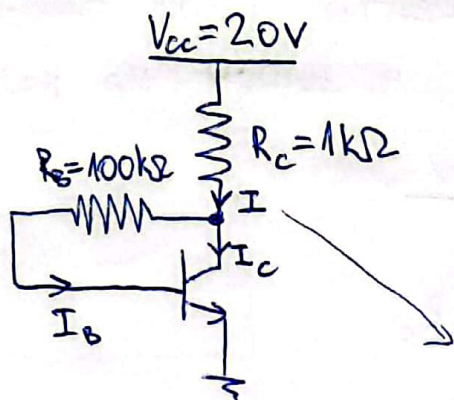
$$V_{BE1} - V_{BE2} = V_T \cdot \ln\left(\frac{I_{C1}}{I_{C2}}\right) \Rightarrow V_{BE2} = 0,7 - 0,026 \cdot \ln\left(\frac{1}{2}\right) = 0,718 \text{ V}$$

$$V_E = R_E I_E + V_{EE}$$

$$I_E = \frac{\beta + 1}{\beta} \cdot I_{C2} = \frac{101}{100} \cdot 2 \text{ mA} = 2,02 \text{ mA}$$

$$R_E = \frac{V_E - V_{EE}}{I_E} = \frac{-0,718 - (-15)}{2,02 \cdot 10^{-3}} = 7,07 \text{ k}\Omega$$

4) НАЙТИ I_B И V_{CE} . ТРАНЗИСТОР ЈЕ У АКТИВНОЈ ОБЛАСТИ ($\beta=100$, $V_{BE}=0,7V$)



РЕШЕЊЕ:

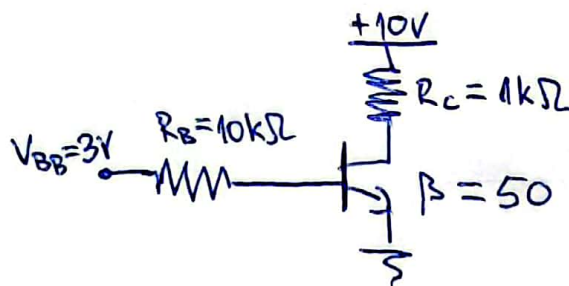
$$R_B \cdot I_B = V_{CC} - \beta \cdot I_B \cdot R_C - I_B R_C - V_{BE}$$

$$I_B = \frac{20 - (100+1) \cdot I_B \cdot 1k - 0,7}{100k} = \frac{19,3}{100k} - \frac{101}{100} I_B$$

$$\Rightarrow I_B + \frac{101}{100} I_B = \frac{19,3}{100k} \Rightarrow I_B = 96 \mu A$$

$$V_{CE} = V_{CC} - (I_C + I_B) \cdot R_C = 20 - (9,6 \mu A + 0,096 \mu A) \cdot 1k = 9,676V$$

5) ОДРЕДИТИ ДА ЛИ ЈЕ ТРАНЗИСТОР У КОЈУ ПРИКАЗАНОМ НА СЛИЦИ У ОБЛАСТИ ЗАСИЋЕЊА. ПРЕТПОСТАВИТИ $V_{CES}=0,2V$ $V_{BE}=0,8V$



РЕШЕЊЕ:

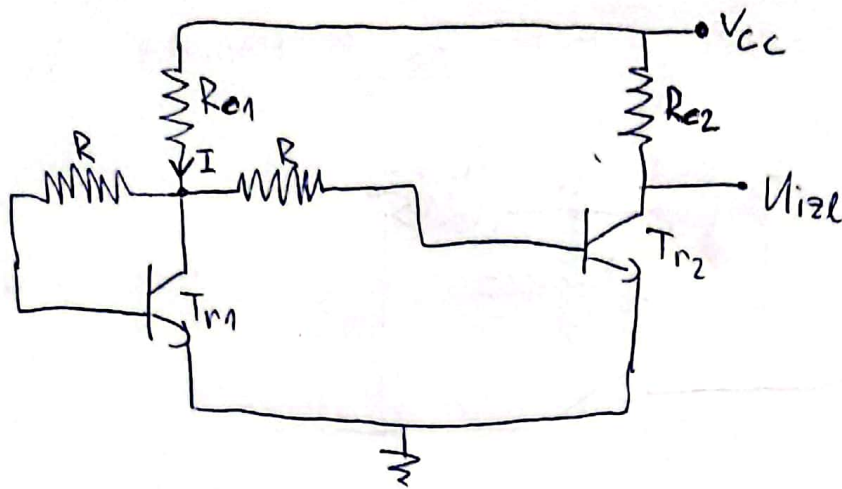
$$I_{CS} = \frac{V_{CC} - V_{CES}}{R_C} = 9,8 \mu A$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = 0,22 \mu A$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 11 \mu A > I_{CS} \rightarrow \text{ТРАНЗИСТОР ЈЕ У ЗАСИЋЕЊУ.}$$

*САДА ТРЕБА ПРОВЈЕРИТИ ДА ЛИ ЈЕ I_B ДОВОЉНО ВЕЛИКА ДА БИ ОДВЕЛА ТРАНЗИСТОР У ЗАСИЋЕЊЕ Т.Ј. $I_C > I_{CS}$

6. ЗА КОЈО ПРИКАЗАНО НА СЛИЦИ ОДРЕДИТИ ОПШТЕ ИЗРАЗИ ЗА СТРУЈЕ КРОЗ ОТПОРНИКЕ R_{c1} И R_{c2} . СМАТРАТИ ДА ТРАНЗИСТОРИ ИМАЈУ ИДЕНТИЧНЕ ПАРАМЕТРЕ (β И V_{BE}), КАО И ДА СУ ПОЗНАТЕ СВЕ ВРИЈЕДНОСТИ ЕЛЕМЕНАТА УПОТРЕБЉЕНИХ У КОЈУ.



$$I_{B1} = I_{B2} = I_B \Rightarrow I_{B1} = I_{B2} = \frac{V_{C1} - V_{BE}}{R} \quad (1)$$

$$I = \frac{V_{CC} - V_{C1}}{R_{c1}} \quad (2)$$

$$I = I_{c1} + 2I_B = \beta \cdot I_B + 2I_B$$

$$I = (\beta + 2) I_B \quad (3)$$

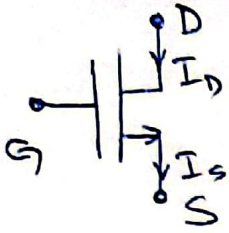
ИЗ (1) $\Rightarrow V_{C1} = RI_B + V_{BE}$ ПА УВРШТАВАМО У (2) И ИЗЈЕДНАЧАВАМО СА (3)

$$\frac{V_{CC} - RI_B - V_{BE}}{R_{c1}} = (\beta + 2) I_B$$

$$\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_{c1}} = \left(\beta + 2 + \frac{R}{R_{c1}} \right) I_B \Rightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R + (\beta + 2) R_{c1}}$$

$$\Rightarrow I = (\beta + 2) \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R + (\beta + 2) R_{c1}} ; I_{c2} = \beta \cdot \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R + (\beta + 2) R_{c1}}$$

УНИПОЛАРНИ ТРАНЗИСТОРИ



G → \bar{u}_{ejm}
D → $grejm$
S → $corp$

$$I_G = 0$$

!

$$V_{GS} < V_{th}$$

искључен

$$V_{GS} > V_{th} \rightarrow \text{НАПОН ПРАГА}$$

↑
ТРАНЗИСТОР
УКЉУЧЕН (АЛИ
СЕ ЈОШ НЕ ЗНА
У КОЈОЈ ЈЕ ОБЛАСТИ)

$$V_{DS} > V_{GS} - V_{th} \rightarrow \text{ЗАСИЋЕЊЕ}$$

$$V_{DS} < V_{GS} - V_{th} \rightarrow \text{ТРИОДНА ОБЛАСТ}$$

$$I_D = k_n (V_{GS} - V_{th})^2 \rightarrow \text{СТРУЈА ДРЕЈНА КАД ЈЕ ТРАНЗИСТОР У САТУРАЦИЈИ}$$

$$I_D = k_n \cdot (2 \cdot (V_{GS} - V_{th}) V_{DS} - V_{DS}^2) \rightarrow \text{СТРУЈА ДРЕЈНА КАД ЈЕ ТРАНЗИСТОР У ТРИОДНОЈ ОБЛ.}$$

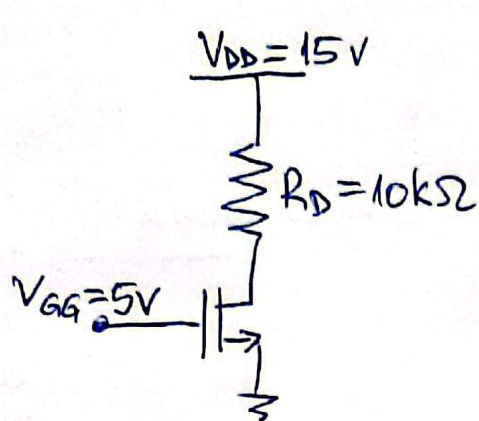
$k_n \rightarrow$ ТРАНСКОНДУКТАНСКИ ПАРАМЕТАР

$$k_n = \frac{\mu_n \epsilon_{ox}}{2 t_{ox}} \cdot \frac{W}{L} = \mu_n C_{ox} \cdot \frac{W}{2L}$$

* ИЗЛАЗНА И ПРЕНОСНА КАРАКТЕРИСТИКА ТРАНЗИСТОРА

3] 1] ОДРЕДИТИ ОБЛАСТ РАДА NMOS ТРАНЗИСТОРА ЗА КОЈО НА СЛИЦИ.

у
р/



$$V_{th} = 1V$$

$$K_n = 0,5 \text{ mA/V}^2$$

РЈЕШЕЊЕ:

ПРОВЈЕРАВАМО ПРВО ДА ЛИ ТРАНЗИСТОР РАДИ;

$$V_{GS} = V_{GG} = 5V > V_{TN} \rightarrow \text{УКЛУЧЕН}$$

ПОШТО НЕ ЗНАМО У КОЈОЈ ЈЕ ОБЛАСТИ, ПРЕТПОСТАВИЋЕМО ДА ЈЕ У САТУРАЦИЈИ (ОАКШЕ ЈЕ!)

$$I_D = K_n \cdot (V_{GS} - V_{th})^2 = 0,5 \cdot (5 - 1)^2 = 8 \text{ mA}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot R_D = 15V - 8 \text{ mA} \cdot 10k\Omega = -65V$$

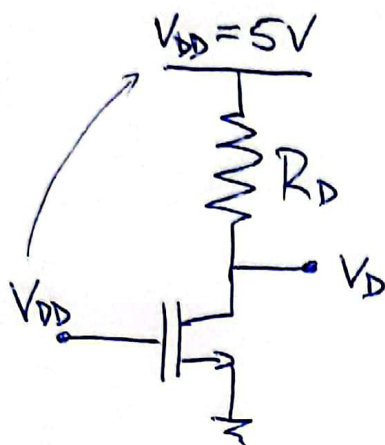
ПРЕТПОСТАВКА НИЈЕ ДОБРА ЈЕР ДОБИЈАМО НАПОН ОД -65V У КОЈУ ГДЈЕ ЈЕ НАПАЈАЊЕ 15V И ГДЈЕ НЕМА НЕГ. НАПАЈАЊА. ПРЕМА ТОМЕ, ТРАНЗИСТОР РАДИ У ТРИОДНОЈ (ОМСКОЈ) ОБЛАСТИ.

ДА НАМ ЈЕ R_D БИЛО $1k\Omega$ ДОБИЛИ БИСМО;

$$V_{DS} = 7V \quad \text{и} \quad V_{DS} > V_{GS} - V_T \quad \text{ПА БИ}$$

ТРАНЗИСТОР БИЛО У ЗАСИЋЕЊУ.

2] ПРОЈЕКТОВАТИ КОЛО СА СЛИКЕ ТАКО ДА НАПОН НА ДРЕЈНУ БЈДЕ $0,1V$. КОЈА ЈЕ ОТПОРНОСТ ИЗМЕЂУ ДРЕЈНА И СОРСА У ТОМ СЛУЧАЈУ? $V_{th} = 1V$, $k_n = 0,5mA/V^2$, $V_{DD} = 5V$



РЕШЕЊЕ:

$$V_{GS} > V_{th} \quad \text{ТРАНЗИСТОР РАДИ}$$

$$V_{DS} = V_D = 0,1 < 5 - 1V \quad \text{ТРИОДНА ОБЛАСТ}$$

$$I_D = k_n (2 \cdot (V_{GS} - V_{th}) \cdot V_{DS} - V_{DS}^2) = 0,395 \mu A$$

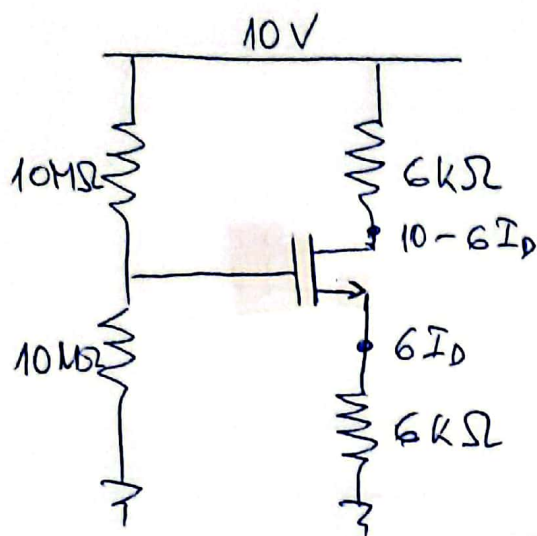
$$R_D = \frac{V_{DD} - V_D}{I_D} = \frac{5 - 0,1}{0,395 \mu A} = 12,4 k\Omega$$

$$r_{DS} = \frac{V_{DS}}{I_D} = \frac{0,1V}{0,395 \mu A} = 253 \Omega$$

3) НАЋИ СВЕ НАПОНЕ И СТАВЈЕ

$$V_{th} = 1V$$

$$k_n' \left(\frac{W}{L} \right) = 1 \mu A/V^2 \Rightarrow k_n = \frac{\mu_n C_{ox}}{2} \cdot \frac{W}{L} = 0,5 \mu A/V^2$$



Рјезулте:

$$I_G = 0 \Rightarrow \text{НАПОНСКИ РАЗДЈЕЛНИК} \quad V_G = 5V$$

$V_G > V_{TN} \Rightarrow$ ТРАНЗИСТОР ЈЕ УКЉУЧЕН, САМО НЕ ЗНАМО У КОЈОЈ ЈЕ ОБЛАСТИ

УВОДИМО ПРЕТПОСТАВКУ ДА ЈЕ У САТУРАЦИЈИ (АКО ПОГРИЈЕШИМО, ОНАД ЈЕ У ТРИОДНОЈ)

$$I_D (\mu A) \cdot 6 (k\Omega) = 6 I_D$$

$$V_{GS} = 5 - 6 I_D ; I_D = k_n \cdot (V_{GS} - V_{th})^2$$

$$x_{1/2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$I_D = 0,5 \cdot (5 - 6 I_D - 1)^2 \Rightarrow 18 I_D^2 - 25 I_D + 8 = 0$$

$$I_{D1} = 0,89 \mu A \quad I_{D2} = 0,5 \mu A$$

↓

$$V_S = 6 \cdot 0,89 = 5,34$$

НЕМА СМИСЛА
ДА ЈЕ БИЛЕ ОД V_G

↓

$$V_S = 0,5 \cdot 6 = \boxed{3V}$$

$$V_{GS} = \boxed{2V}$$

$$V_D = 10 - 6 \cdot 0,5 = \boxed{7V}$$

$V_D > V_G - V_{th}$
САТУРАЦИЈА