MOS ТРАНЗИСТОРИ (MOSFET)

- Постоје 2 типа MOS транзистора: са уграђеним и са индукованим каналом. Анализираћемо транзисторе са индукованим каналом.

- Преносне карактеристике:

n-канални MOSFET

p-канални MOSFET
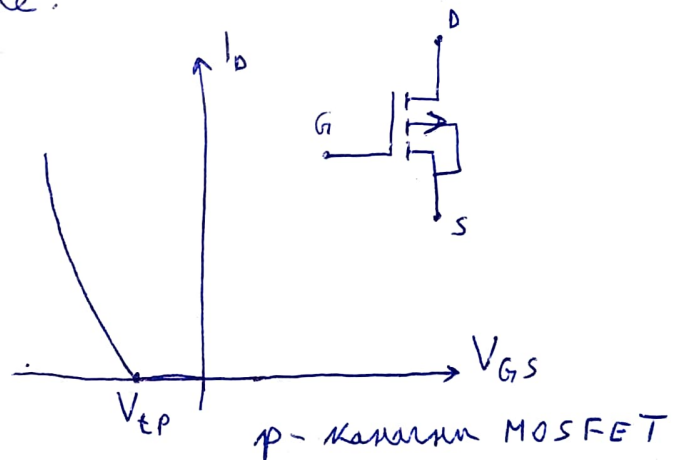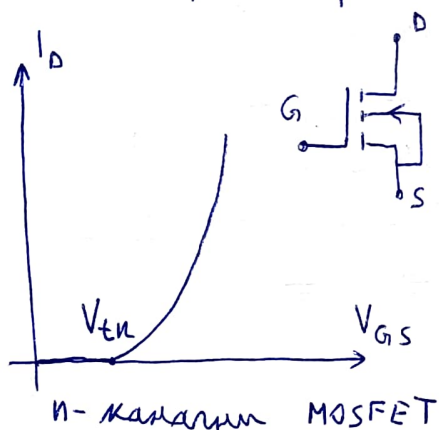
- Излазна карактеристика n-каналног MOS транзистора:

$$V_{GS4} > V_{GS3} > \ldots > V_{GS0}$$

Област закочења
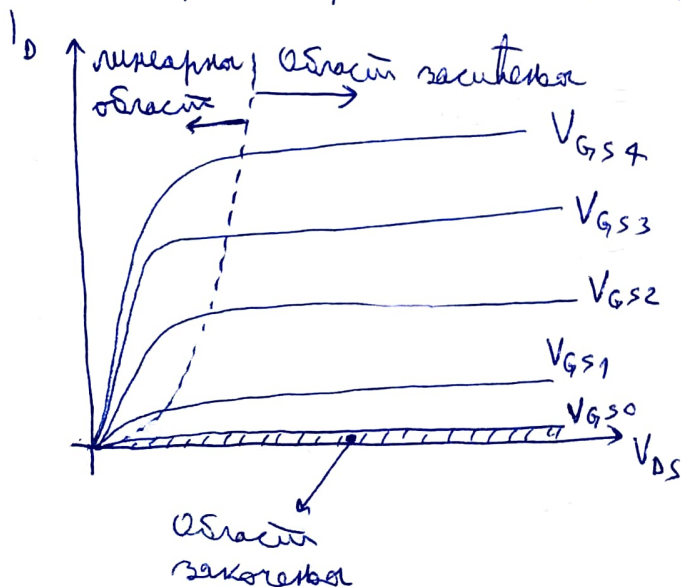
- Постоје 3 режима рада:

1° Режим закочења (cut-off)

$$V_{GS} < V_{tn} \implies I_D = 0$$

2° Линеарна (триодна) област

$$V_{GS} > V_{tn} \quad , \quad V_{DS} < V_{GS} - V_{tn}$$

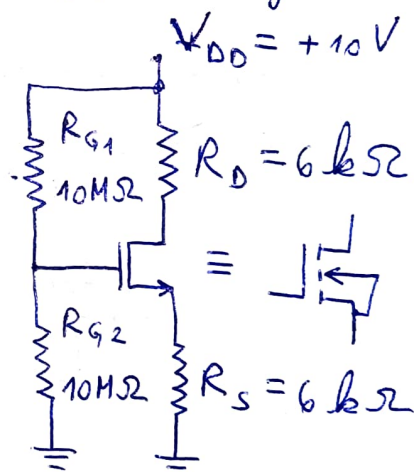$$I_D = \beta_n \left[(V_{GS} - V_{tn}) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

3° Област засићења

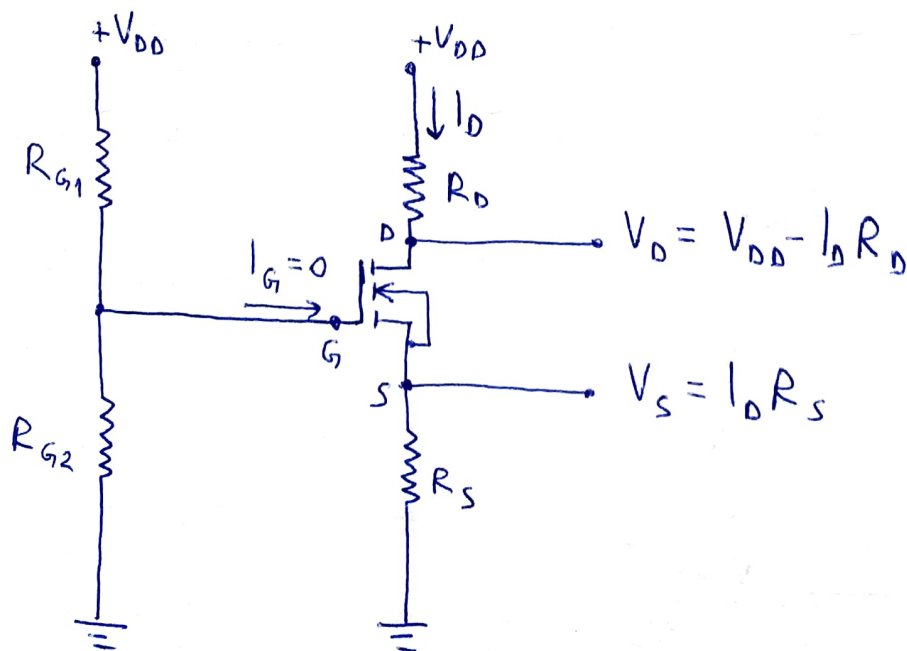$$V_{GS} > V_{tn} \quad , \quad V_{DS} > V_{GS} - V_{tn}$$

$$I_D = \frac{1}{2} \beta_n (V_{GS} - V_{tn})^2$$

⑲ Анализирати коло са слике. Познато је:

$$V_{tn} = 1V \quad , \quad \beta_n = 1 \frac{mA}{V^2}.$$

$$V_{DD} = +10V$$

R_{G1} : $10M\Omega$ $R_D = 6 k\Omega$

R_{G2} : $10M\Omega$ $R_S = 6 k\Omega$

Рјешење:

$$V_D = V_{DD} - I_D R_D$$

$$V_S = I_D R_S$$

$$I_G = 0$$

$$V_G = V_{DD} \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} = 10 \frac{10 \cdot 10^6}{10 \cdot 10^6 + 10 \cdot 10^6} = \underline{5\,V} \checkmark$$

- Напон на гејту је $+5\,V$, што значи да је транзистор укључен, али не знамо у којој области ради (засићење или линеарна област).

- Претпоставићемо да је транзистор у засићењу:

$$V_G = 5\,V$$

$$V_S = I_D\,[mA] \cdot 6\,[k\Omega] = 6\,I_D$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = 5 - 6\,I_D$$

$$I_D = \frac{1}{2} \beta_n (V_{GS} - V_{tn})^2 = \frac{1}{2} \cdot 1 \left[\frac{mA}{V^2}\right] \cdot (5 - 6\,I_D - 1)^2$$

$$I_D = \frac{1}{2} (16 - 48\,I_D + 36\,I_D^2) \implies 18\,I_D^2 - 25\,I_D + 8 = 0$$

$$I_D = \begin{cases} 0,89\;mA \\ 0,5\;mA \end{cases}$$

- Сада требамо провјерити које рјешење за струју I_D је тачно:

- За $I_D = 0,89\;mA$:

$$V_S = I_D R_S = 0,89\,[mA] \cdot 6\,[k\Omega] = 5,34\,V > V_G$$

Ово рјешење нема смисла, јер би било $V_{GS} < 0$, што би значило да је транзистор искључен.

- За $I_D = 0,5\;mA$:

$$V_S = I_D R_S = 3\,V$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = 5 - 3 = 2\,V > V_{tn}$$

$$V_D = V_{DD} - I_D R_D = 10 - 6 \cdot 0,5 = 7\,V$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 7 - 3 = 4\,V$$

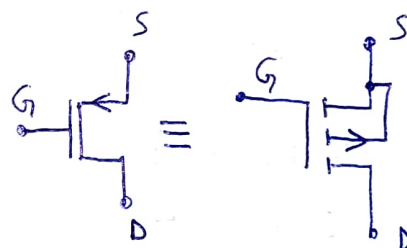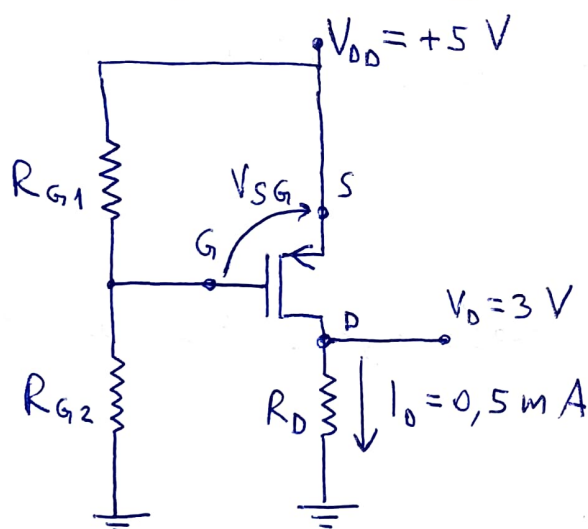Сада имамо испуњена оба услова да се транзистор налази у засићеној области:

$$V_{GS} > V_{tn}$$
$$V_{DS} > V_{GS} - V_{tn}$$

Имајући то у виду, наша претпоставка је тачна.

(20) Пројектовати коло на слици тако да транзистор ради у области засићења и то у радној тачки $I_D = 0,5\,mA$ и $V_D = 3\,V$. Познато је $V_{tp} = -1\,V$, $\beta_p = 1\,\dfrac{mA}{V^2}$.
Колика је максимална вриједност за R_D, а да транзистор остане у засићењу?

Рјешење:

За област засићења важи:

$$I_D = \frac{1}{2}\beta_p \left(V_{SG} - |V_{tp}| \right)^2$$

$$0,5 \cdot 10^{-3} = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 10^{-3} \left(V_{SG} - |V_{tp}| \right)^2$$

$$1 = \left(V_{SG} - |V_{tp}| \right)^2 \quad \cancel{\Rightarrow V_{SG} + |V_{tp}| = 1\,V}$$

$$1 = V_{SG} - 1 \Rightarrow \boxed{V_{SG} = 2\,V}$$

$$V_G = V_S - V_{SG} = V_{DD} - V_{SG} = 5 - 2 = \underline{3\,V}$$

$$V_G = V_{DD} \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}}$$

- Могућа комбинација за R_{G1} и R_{G2}:

$$R_{G1} = 2\,M\Omega, \quad R_{G2} = 3\,M\Omega$$

$$R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{3}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 6\,k\Omega$$

- Услов да се транзистор налази у засићеној области:

$$\cancel{V_{SG}} > |V_{tp}|, \qquad V_{SD} > V_{SG} - |V_{tp}|$$

$$V_{SD} > V_{SG} - |V_{tp}| \; ; \quad V_{SG} = V_{DD} - V_G$$

$$V_{SD} = V_{DD} - V_D$$

$$V_{DD} - V_D > V_{DD} - V_G - |V_{tp}|$$

$$-V_D > -V_G - |V_{tp}| \qquad / \cdot (-1)$$

$$V_D < V_G + |V_{tp}| \implies V_{Dmax} = V_G + |V_{tp}| = 4\,V$$

$$R_{Dmax} = \frac{V_{Dmax}}{I_D} = \frac{4}{0,5 \cdot 10^{-3}} = \underline{8\,k\Omega}$$