

MOSFET TRANZISTORI

ZADATAK 1. NMOS tranzistor ima napon praga $V_T = 2 \text{ V}$ i kroz njega protiče struja $I_{D1} = 1 \text{ mA}$ kada je $V_{GS} = V_{DS} = 3 \text{ V}$. Odrediti struju drejna I_D za $V_{GS} = 4 \text{ V}$.

Rešenje:

Na osnovu ispunjenosti uslova da je $V_{GS} = 3 \text{ V} > V_T = 2 \text{ V}$ dolazi se do zaključka da tranzistor nije zakočen. Napon $V_{DS(sat)}$ određuje se kao:

$$V_{DS(sat)} = V_{GS} - V_T = 3 - 2 = 1 \text{ V}$$

S obzirom da je $V_{DS} = 3 \text{ V} > V_{DS(sat)} = 1 \text{ V}$ zaključuje se da je tranzistor u zasićenju, a tada struja iznosi:

$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_T)^2$$

Do nepoznatog parametra k dolazi se na osnovu poznate struje drejna pri poznatim naponima V_{GS} i V_T :

$$k = \frac{I_{D1}}{(V_{GS} - V_T)^2} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{(3 - 2)^2} = 1 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$$

Pa se za struju drejna, pri naponu $V_{GS} = 4 \text{ V}$ dobija:

$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_T)^2 = 1 \cdot 10^{-3} \cdot (4 - 2)^2 = 4 \text{ mA}$$

ZADATAK 2. Kod NMOS tranzistora je poznato: $V_T = 2.5 \text{ V}$, $L = 5 \mu\text{m}$, $W = 50 \mu\text{m}$, $\mu_n = 800 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ i kapacitivnost oksida gejta po jedinici površine $8.63 \cdot 10^{-8} \text{ F/cm}^2$. Odrediti struje gejta i drejna ovog tranzistora i navesti u kojoj oblasti rada se nalazi ako su poznati naponi na njegovim izvodima:

- $V_{GS} = 1.2 \text{ V}$, $V_{DS} = 4 \text{ V}$
- $V_{GS} = 4 \text{ V}$, $V_{DS} = 1.2 \text{ V}$
- $V_{GS} = 4 \text{ V}$, $V_{DS} = 4 \text{ V}$

Naći snagu disipacije.

Rešenje:

Struja gejta I_G je uvek jednaka nuli!!!

- Uslov $V_{GS} = 1.2 \text{ V} > V_T = 2.5 \text{ V}$ nije ispunjen, što znači da je tranzistor u zakočenju i da struja iznosi $I_D = 0 \text{ A}$. Snaga disipacije će biti:

$$P = I_D \cdot V_{DS} = 0 \text{ W}$$

- Uslov $V_{GS} = 4 \text{ V} > V_T = 2.5 \text{ V}$ je ispunjen što znači da tranzistor nije u zakočenju pa se može nastaviti sa daljim ispitivanjem. Izračunati vrednost $V_{DS(sat)}$:

$$V_{DS(sat)} = V_{GS} - V_T = 4 - 2.5 = 1.5 \text{ V}$$

Naredni korak je proveravanje da li je $V_{DS} = 1.2 \text{ V} > V_{DS(sat)} = 1.5 \text{ V}$. Ovo nije ispunjeno, pa znači da je tranzistor u triodnoj oblasti rada.

Parametar k određuje se kao:

$$k = \frac{\mu_n \cdot \epsilon_{ox} \cdot W}{2 \cdot t_{ox} \cdot L} = \mu_n \cdot C_{ox} \cdot \frac{W}{2 \cdot L} = 3.452 \cdot 10^{-4} \frac{\text{A}}{\text{V}^2}$$

Pa struja drejna iznosi:

$$I_D = 2 \cdot k \cdot \left[(V_{GS} - V_T) \cdot V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] = 7.456 \cdot 10^{-4} \text{ A}$$

Snaga disipacije će biti:

$$P = I_D \cdot V_{DS} = 7.456 \cdot 10^{-4} \cdot 1.2 = 0.895 \text{ mW}$$

- c) Uslov $V_{GS} = 4 \text{ V} > V_T = 2.5 \text{ V}$ je ispunjen što znači da tranzistor nije u zakočenju. Izračunati vrednost $V_{DS(sat)}$:

$$V_{DS(sat)} = V_{GS} - V_T = 4 - 2.5 = 1.5 \text{ V}$$

Zatim proveriti da li je $V_{DS} = 4 \text{ V} > V_{DS(sat)} = 1.5 \text{ V}$, što je tačno, pa znači da je tranzistor u zasićenju.

Struja drejna određiće se pomoću formule:

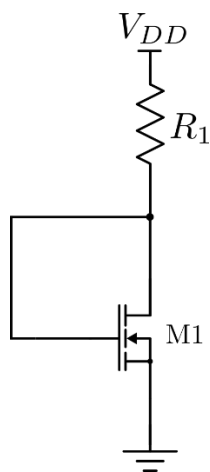
$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_T)^2 = 3.452 \cdot 10^{-4} \cdot (4 - 2.5)^2 = 7.767 \cdot 10^{-4} \text{ A}$$

Snaga disipacije iznosi:

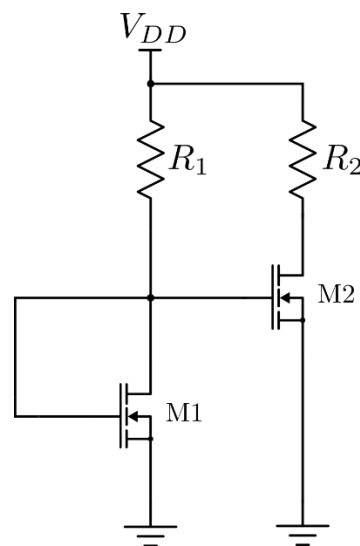
$$P = I_D \cdot V_{DS} = 7.767 \cdot 10^{-4} \cdot 4 = 3.107 \text{ mW}$$

ZADATAK 3.

- a) Za kolo sa slike odrediti vrednost otpornosti otpornika R_1 i napona na drejnu V_D tako da je struja drejna $I_D = 80 \mu\text{A}$, ako je upotrebljen NMOS tranzistor (M1) čiji je napon praga $V_T = 0.6 \text{ V}$, $\mu_n \cdot C_{ox} = 200 \mu\text{A}/\text{V}^2$, $L = 0.8 \mu\text{m}$, $W = 4 \mu\text{m}$. Poznato je $V_{DD} = 3 \text{ V}$.
- b) Ukoliko se napon V_D primeni na gejnt tranzistora M2, odrediti radnu tačku (I_D , V_{DS}) ovog tranzistora. Tranzistori M1 i M2 su identični. Naći snagu disipacije tranzistora. Poznato je $R_2 = 20 \text{ k}\Omega$.



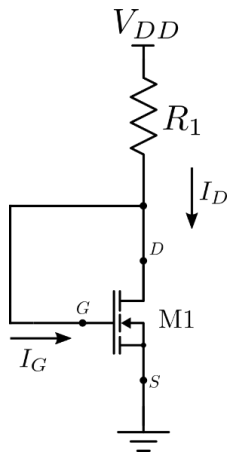
a)



b)

Rešenje:

a)



Parametar k iznosi:

$$k = \mu_n \cdot C_{ox} \cdot \frac{W}{2 \cdot L} = 500 \frac{\mu A}{V^2}$$

Uočiti da su u kolu kratkospojeni gejt i drejn tranzistora, što znači da je $V_G = V_D$, a samim tim je i $V_{GS} = V_{DS}$!

S obzirom da je $V_{GS} = V_{DS}$, tranzistor je sigurno u zasićenju. Iz izraza za struju tranzistora u zasićenju može se odrediti $V_{DS(sat)}$:

$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_T)^2 = k \cdot V_{DS(sat)}^2 \quad \rightarrow \quad V_{DS(sat)} = \sqrt{\frac{I_D}{k}} = \sqrt{\frac{80 \cdot 10^{-6}}{500 \cdot 10^{-6}}} = 0.4 \text{ V}$$

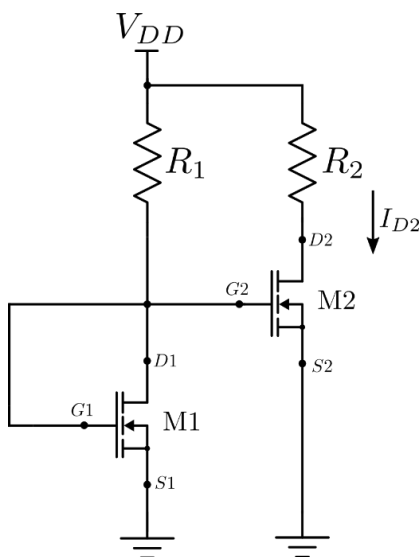
Iz relacije $V_{DS(sat)} = V_{GS} - V_T$ moguće je izraziti vrednost napona V_{GS} za koji se zna da je jednak naponu V_{DS} , pa se onda zaključuje:

$$V_{DS} = V_{GS} = V_{DS(sat)} + V_T = 0.4 + 0.6 = 1 \text{ V}$$

Do vrednosti otpornika R_1 dolazi se iz jednačine:

$$V_{DD} = R_1 \cdot I_D + V_{DS} \quad \rightarrow \quad R_1 = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{I_D} = \frac{3 - 1}{80 \cdot 10^{-6}} = 25 \text{ k}\Omega$$

b)



Uočiti da za dato kolo važi:

$$V_{GS2} = V_{DS1} = 1 \text{ V}$$

Uslov $V_{GS2} = 1 \text{ V} > V_T = 0.6 \text{ V}$ je ispunjen što znači da tranzistor M2 nije u zakočenju. Moguće je odrediti napon $V_{DS(sat)2}$:

$$V_{DS(sat)2} = V_{GS2} - V_T = 1 - 0.6 = 0.4 \text{ V}$$

Zadatak raditi pod **pretpostavkom** da je tranzistor M2 u zasićenju, i na kraju obavezno ispitati da li je pretpostavka bila tačna. U slučaju da je tranzistor u zasićenju struja I_{D2} iznosi:

$$I_{D2} = k \cdot (V_{GS2} - V_T)^2 = 500 \cdot 10^{-6} \cdot (1 - 0.6)^2 = 80 \mu\text{A}$$

Kolo se može opisati jednačinom odakle će se odrediti napon V_{DS2} :

$$V_{DD} = R_2 \cdot I_{D2} + V_{DS2} \quad \rightarrow \quad V_{DS2} = V_{DD} - R_2 \cdot I_{D2} = 3 - 20 \cdot 10^3 \cdot 80 \cdot 10^{-6} = 1.4 \text{ V}$$

Poslednji korak je **OBAVEZNO** proveravanje pretpostavke na osnovu koje je kolo rešavano! Ukoliko je ispunjen uslov $V_{DS} > V_{DS(sat)}$, pretpostavka je tačna i tranzistor je stvarno u zasićenju. Ukoliko uslov nije ispunjen, potrebno je opet rešiti kolo za odgovarajuću oblast rada. U ovom slučaju je:

$$V_{DS2} = 1.4 \text{ V} > V_{DS(sat)2} = 0.4 \text{ V}$$

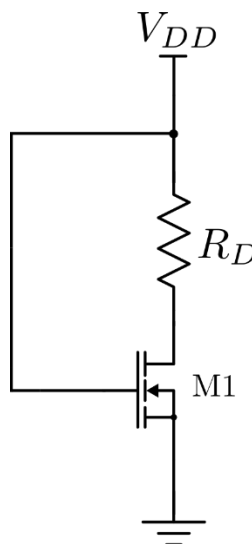
što znači da je pretpostavka bila tačna i da je tranzistor u zasićenju.

Snaga disipacije iznosi:

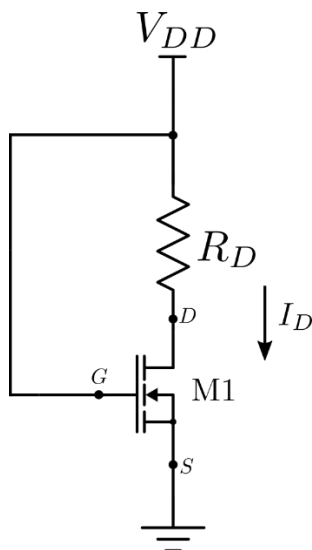
$$P = I_D \cdot V_{DS} = 80 \cdot 10^{-6} \cdot 1.4 = 0.112 \text{ mW}$$

ZADATAK 4.

- Odrediti vrednost otpornosti otpornika R_D tako da napon na drejnu NMOS tranzistora bude $V_D = 0.1 \text{ V}$. Poznato je $V_{DD} = 5 \text{ V}$, $V_T = 1 \text{ V}$, $k = 0.5 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$. Odrediti i otpornost kanala tranzistora (r_{DS}) u ovom slučaju.
- Odrediti radnu tačku (I_D, V_{DS}) ukoliko se upotrebi otpornik R_D dvostruko veće vrednosti otpornosti.



Rešenje:



a) U kolu se može uočiti da je:

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_{DD} - 0 = 5 \text{ V}$$

S obzirom da je $V_{GS} = 5 \text{ V} > V_T = 1 \text{ V}$ znači da tranzistor nije zakočen. Naredni korak je određivanje napon $V_{DS(sat)}$:

$$V_{DS(sat)} = V_{GS} - V_T = 5 - 1 = 4 \text{ V}$$

Uslov zadatka je da napon na drejnu tranzistora iznosi $V_D = 0.1 \text{ V}$, a iz kola se vidi da je $V_D = V_{DS}$, pa se dolazi do zaključka da je tranzistor u triodnoj oblasti jer je:

$$V_{DS} = 0.1 \text{ V} < V_{DS(sat)} = 4 \text{ V}$$

Struja drejna u triodnoj oblasti iznosi:

$$I_D = 2 \cdot k \cdot \left[(V_{GS} - V_T) \cdot V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] = 0.395 \text{ mA}$$

Kolo se može opisati jednačinom odakle se određuje otpornost otpornika R_D :

$$V_{DD} = R_D \cdot I_D + V_{DS} \quad \rightarrow \quad R_D = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{I_D} = \frac{5 - 0.1}{0.395 \cdot 10^{-3}} = 12.4 \text{ k}\Omega$$

Otpornost kanala tranzistora zavisi od njegove radne tačke, pa se dobija:

$$r_{DS} = \frac{V_{DS}}{I_D} = \frac{0.1}{0.395 \cdot 10^{-3}} = 253 \text{ }\Omega$$

b) Za duplo veću otpornost koja iznosi $R_D = 24.8 \text{ k}\Omega$ i $V_{GS} = 5 \text{ V}$, zamenom struje odgovarajućim izrazom, dobija se jednačina kola:

$$V_{DD} = R_D \cdot \left\{ 2 \cdot k \cdot \left[(V_{GS} - V_T) \cdot V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] \right\} + V_{DS}$$

Koja se svodi na kvadratnu jednačinu čija su rešenja:

$$V_{DS1,2} = \frac{-[R_D \cdot 2 \cdot k(V_{GS} - V_T) + 1] \pm \sqrt{[R_D \cdot 2 \cdot k(V_{GS} - V_T) + 1]^2 - 4 \cdot R_D \cdot k \cdot V_{DD}}}{-2 \cdot R_D \cdot k}$$

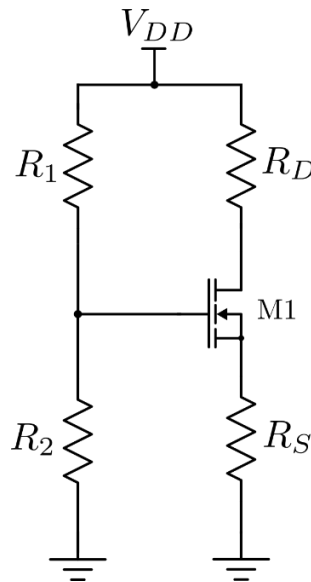
$$V_{DS1} = 0.04 \text{ V} \quad \text{i} \quad V_{DS2} = 8.03 \text{ V}$$

Da bi tranzistor bio u triodnoj oblasti, neophodno je da $V_{DS} < V_{DS(sat)} = 4 \text{ V}$, što ispunjava prvo rešenje, pa se usvaja da je $V_{DS} = 0.04 \text{ V}$. Vrednost struje drejna se nalazi iz jednačine kojom je opisano kolo:

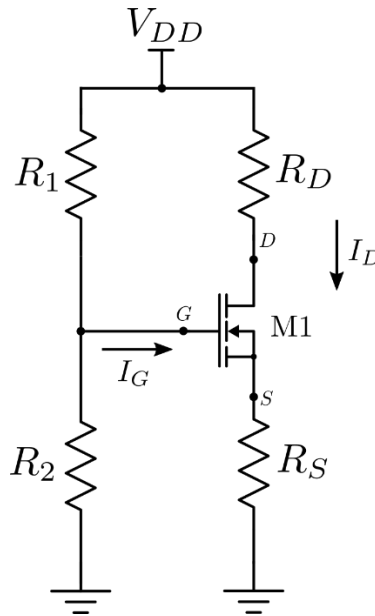
$$V_{DD} = R_D \cdot I_D + V_{DS} \quad \rightarrow \quad I_D = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{R_D} = \frac{5 - 0.04}{24.8 \cdot 10^3} = 0.2 \text{ mA}$$

Radna tačka je definisana vrednostima $(V_{DS}, I_D) = (0.04 \text{ V}, 0.2 \text{ mA})$

ZADATAK 5. Odrediti sve struje i napone u kolu sa slike, ako je upotrebljen NMOS tranzistor čiji je napon praga $V_T = 1 \text{ V}$, a $k = 0.5 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$. Poznato je $V_{DD} = 10 \text{ V}$, $R_1 = R_2 = 10 \text{ M}\Omega$, $R_D = R_S = 6 \text{ k}\Omega$.



Rešenje:



S obzirom na to da je struja gejta $I_G = 0$ A, napon na gejtju tranzistora određuje se iz razdelnika napona:

$$V_G = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \cdot V_{DD} = \frac{10 \cdot 10^6}{10 \cdot 10^6 + 10 \cdot 10^6} \cdot 10 = 5 \text{ V}$$

Za kolo važi relacija:

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_G - R_S \cdot I_D$$

Zadatak raditi pod pretpostavkom da je tranzistor u zasićenju, što bi značilo da je struja:

$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_T)^2$$

Zamenom V_{GS} u jednačinu struje, dobija se kvadratna jednačina:

$$(k \cdot R_S^2) \cdot I_D^2 + (-1 - 2 \cdot k \cdot V_G \cdot R_S + 2 \cdot k \cdot V_T \cdot R_S) \cdot I_D + (k \cdot V_T^2 + k \cdot V_G^2 - 2 \cdot k \cdot V_G \cdot V_T) = 0$$

Rešenja jednačine su:

$$I_{D1} = 0.89 \text{ mA} \quad \text{i} \quad I_{D2} = 0.5 \text{ mA}$$

Za struju I_{D1} , napon V_{S1} iznosi:

$$V_{S1} = R_S \cdot I_{D1} = 6 \cdot 10^3 \cdot 0.89 \cdot 10^{-3} = 5.34 \text{ V}$$

Pa bi napon $V_{GS1} = 5 - 5.34 = -0.34 \text{ V}$ bio negativan, što nije prihvatljivo.

Za struju I_{D2} , napon V_{S2} iznosi:

$$V_{S2} = R_S \cdot I_{D2} = 6 \cdot 10^3 \cdot 0.5 \cdot 10^{-3} = 3 \text{ V}$$

Pa napon V_{GS2} iznosi $V_{GS2} = 5 - 3 = 2 \text{ V}$, što je prihvatljivo rešenje. Usvaja se da je $V_{GS} = V_{GS2}$.

I **OBAVEZNO** proveriti da li je tranzistor stvarno u zasićenju! Tranzistor nije zakočen jer je ispunjen uslov:

$$V_{GS} = 2 \text{ V} > V_T = 1 \text{ V}$$

U ovom slučaju napon $V_{DS(sat)}$ iznosi:

$$V_{DS(sat)} = V_{GS} - V_T = 2 - 1 = 1 \text{ V}$$

Iz jednačine kola moguće je odrediti napon V_{DS} :

$$V_{DD} = R_D \cdot I_D + V_{DS} + V_S \quad \rightarrow \quad V_{DS} = V_{DD} - R_D \cdot I_D - V_S = 10 - 6 \cdot 10^3 \cdot 0.5 \cdot 10^{-3} - 3 = 4 \text{ V}$$

S obzirom da je:

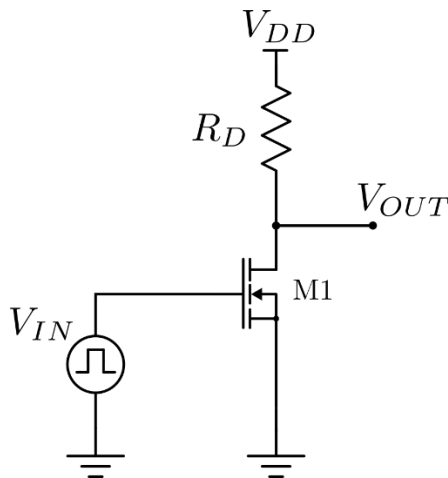
$$V_{DS} = 4 \text{ V} > V_{DS(sat)} = 1 \text{ V}$$

Pretpostavka je bila tačna, i tranzistor radi u oblasti zasićenja!

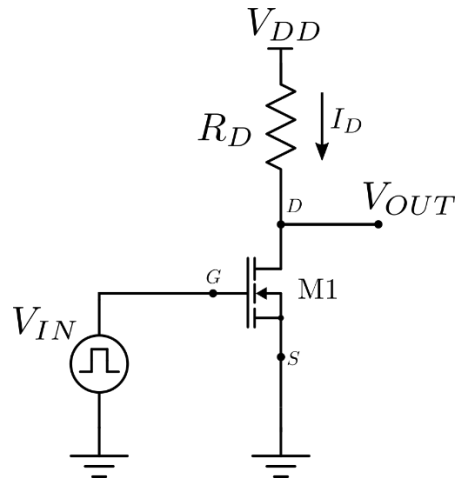
Ostalo je odrediti preostali napon V_D :

$$V_{DS} = V_D - V_S \quad \rightarrow \quad V_D = V_{DS} + V_S = 4 + 3 = 7 \text{ V}$$

ZADATAK 6. NMOS tranzistor u kolu sa slike ima napon praga $V_T = 1.5 \text{ V}$ i $k = 0.4 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$. Ako je napon koji se dovodi na gejt (V_{IN}) – impulsni (0 V i 5 V), odrediti izlazni napon V_{OUT} . Poznato je $V_{DD} = 5 \text{ V}$, $R_D = 1 \text{ k}\Omega$



Rešenje:



Uočiti da je napon na gejtu V_G jednak ulaznom naponu V_{IN} ! Takođe je izlazni napon V_{OUT} jednak naponu V_{DS} !

Za slučaj $V_{IN} = 0$ V, važi da je $V_G = 0$ V, kao i da je napon $V_{GS} = V_G - V_S = 0$ V. U ovom slučaju važi:

$$V_{GS} < V_T$$

Zaključuje se da je tranzistor zakočen, što znači da je struja kroz njega $I_D = 0$ A, pa izlazni napon iznosi:

$$V_{OUT} = V_{DD} - R_D \cdot I_D = V_{DD} = 5$$
 V

Za slučaj $V_{IN} = 5$ V, važi da je $V_G = 5$ V, kao i da je napon $V_{GS} = V_G - V_S = 5$ V. U ovom slučaju važi:

$$V_{GS} > V_T$$

Zaključuje se da tranzistor nije zakočen, i da njegov napon zasićenja iznosi:

$$V_{DS(sat)} = V_{GS} - V_T = 3.5$$
 V

Zadatak raditi pod pretpostavkom da je tranzistor u zasićenju, i na kraju **OBAVEZNO** proveriti da li je pretpostavka tačna!

Za struju se dobija:

$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_T)^2 = 4.9$$
 mA

Iz jednačine kola, moguće je odrediti napon V_{DS} na osnovu koga se zaključuje da li je pretpostavka bila tačna:

$$V_{DD} = R_D \cdot I_D + V_{DS} \quad \rightarrow \quad V_{DS} = V_{DD} - R_D \cdot I_D = 0.1$$
 V

S obzirom da je:

$$V_{DS} < V_{DS(sat)}$$

Zaključuje se da pretpostavka nije tačna, i da je tranzistor u trodnoj oblasti! Neophodno je odraditi proračune sa formulama za triodnu oblast kako bi rezultati bili validni.

U triodnoj oblasti struja iznosi:

$$I_D = 2 \cdot k \cdot \left[(V_{GS} - V_T) \cdot V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

A kolo se može opisati jednačinom:

$$V_{DD} = R_D \cdot I_D + V_{DS}$$

Zamenom izraza za struju u jednačinu kola, dobija se kvadratna jednačina:

$$(-k \cdot R_S) \cdot V_{DS}^2 + [2 \cdot k \cdot R_D \cdot (V_{GS} - V_T) + 1] \cdot V_{DS} - V_{DD} = 0$$

Njena rešenja su:

$$V_{DS1} = 1.6 \text{ V} \quad \text{i} \quad V_{DS2} = 7.9 \text{ V}$$

Drugo rešenje (V_{DS2}) nema smisla, jer bi za tu vrednost napona V_{DS} tranzistor bio u zasićenju, a ovde je poznato da tranzistor radi u triodnoj oblasti.

Prihvata se prvo rešenje $V_{DS} = V_{DS1} = 1.6 \text{ V}$ zato što ispunjava uslov za triodnu oblast:

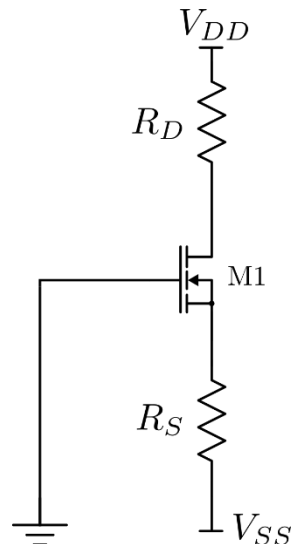
$$V_{DS} < V_{DS(sat)}$$

Na kraju, za struju se dobija:

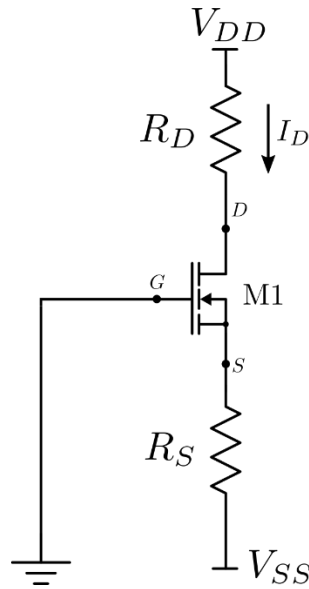
$$I_D = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{R_D} = 3.4 \text{ mA}$$

Izlazni napon V_{OUT} je jednak naponu V_{DS} i iznosi $V_{OUT} = 1.6 \text{ V}$.

ZADATAK 7. Odrediti vrednosti otpornosti otpornika R_D i R_S tako da je struja drena $I_D = 0.4 \text{ mA}$ i $V_D = 0.5 \text{ V}$. NMOS tranzistor ima napon praga $V_T = 0.7 \text{ V}$, $\mu_n \cdot C_{ox} = 100 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2}$, $L = 1 \mu\text{m}$, $W = 32 \mu\text{m}$. Poznato je $V_{DD} = 2.5 \text{ V}$ i $V_{SS} = -2.5 \text{ V}$.



Rešenje:



Za kolo važi da je struja gejta $I_G = 0$ A i napon na gejtju tranzistora $V_G = 0$ V. Napon na sorsu tranzistora je:

$$V_S = R_S \cdot I_D + V_{SS}$$

Za napon V_{GS} važi:

$$V_{GS} = V_G - V_S = 0 - R_S \cdot I_D - V_{SS}$$

Zadatak raditi pod pretpostavkom da je tranzistor u zasićenju, i na kraju **OBAVEZNO** proveriti da li je pretpostavka tačna!

U zasićenju struja se nalazi kao:

$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_T)^2 = k \cdot V_{DS(sat)}^2$$

Parametar k se određuje na sledeći način:

$$k = \mu_n \cdot C_{ox} \cdot \frac{W}{2 \cdot L} = 1.6 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$$

Iz prethodne dve formule, može se odrediti napon $V_{DS(sat)}$:

$$V_{DS(sat)} = \sqrt{\frac{I_D}{k}} = 0.5 \text{ V}$$

Neophodno je odrediti napon V_{DS} , kako bi se proverila tačnost pretpostavke! S obzirom da je $V_{DS(sat)} = V_{GS} - V_T$ moguće je odrediti napon V_{GS} preko koga će se naći napon V_S , i na kraju napon V_{DS} .

$$V_{GS} = V_{DS(sat)} + V_T = 0.5 \text{ V} + 0.7 \text{ V} = 1.2 \text{ V}$$

Napon V_S će biti:

$$V_{GS} = V_G - V_S \quad \rightarrow \quad V_S = V_G - V_{GS} = 0 \text{ V} - 1.2 \text{ V} = -1.2 \text{ V}$$

Sada je moguće odrediti napon V_{DS} i proveriti pretpostavku:

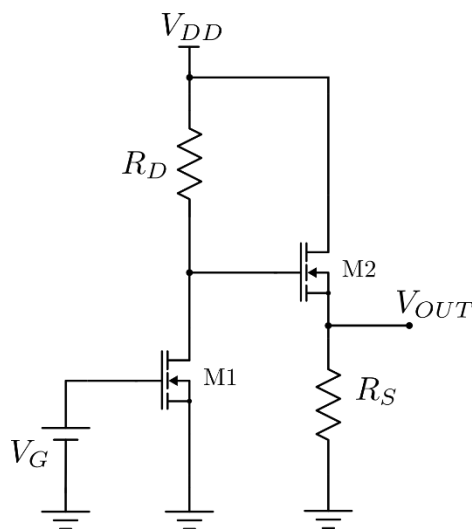
$$V_{DS} = V_D - V_S = 0.5 + 1.2 = 1.7 \text{ V} \quad \rightarrow \quad V_{DS} = 1.7 \text{ V} > V_{DS(sat)} = 0.5 \text{ V}$$

Pretpostavka je bila tačna, tranzistor stvarno radi u oblasti zasićenja! Ostalo je još odrediti vrednosti otpornika R_D i R_S :

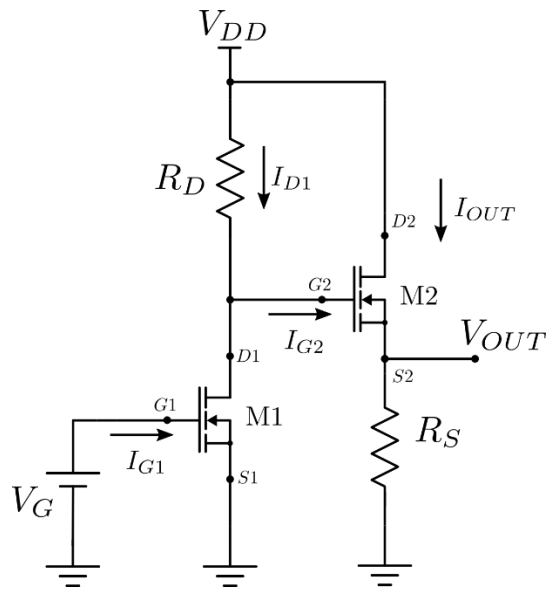
$$V_{DD} = R_D \cdot I_D + V_D \quad \rightarrow \quad R_D = \frac{V_{DD} - V_D}{I_D} = \frac{2.5 \text{ V} - 0.5 \text{ V}}{0.4 \text{ mA}} = 5 \text{ k}\Omega$$

$$V_{GS} = -R_S \cdot I_D - V_{SS} \quad \rightarrow \quad R_S = -\frac{V_{GS} + V_{SS}}{I_D} = -\frac{1.2 \text{ V} + (-2.5 \text{ V})}{0.4 \text{ mA}} = 3.25 \text{ k}\Omega$$

ZADATAK 8. Odrediti V_{OUT} i I_{OUT} (kroz otpornik R_S) u kolu dvostepenog pojačavača prikazanog na slici, kada je $V_G = 4 \text{ V}$. Upotrebljeni su identični tranzistori čiji je napon praga $V_T = 3 \text{ V}$ i $k = 1 \frac{\text{A}}{\text{V}^2}$. Poznato je $V_{DD} = 12 \text{ V}$, $R_D = R_S = 2 \text{ }\Omega$.



Rešenje:



Struje gejta I_{G1} i I_{G2} su jednake nuli. Struja I_{OUT} je jednaka struji drejna tranzistora M2, a izlazni napon V_{OUT} predstavlja napon na sorsu tranzistora M2. Za kolo važi da je:

$$V_{GS1} = V_{G1} - V_{S1} = 4 - 0 = 4 \text{ V}$$

S obzirom da je $V_{GS1} = 4 \text{ V} > V_T = 3 \text{ V}$, tranzistor M1 nije zakočen. Odrediti $V_{DS(sat)1}$:

$$V_{DS(sat)1} = V_{GS1} - V_T = 4 - 3 = 1 \text{ V}$$

Rešavati zadatak pod pretpostavkom da je tranzistor u zasićenju, i potom OBAVEZNO proveriti pretpostavku. Struja zasićenja iznosi:

$$I_{D1} = k \cdot (V_{GS1} - V_T)^2 = k \cdot V_{DS(sat)1}^2 = 1 \text{ A}$$

Iz jednačine kola za tranzistor M1 može se odrediti napon V_{DS1} :

$$V_{DD} = R_D \cdot I_{D1} + V_{DS1} \quad \rightarrow \quad V_{DS1} = V_{DD} - R_D \cdot I_{D1} = 10 \text{ V}$$

S obzirom da je:

$$V_{DS1} = 10 \text{ V} > V_{DS(sat)1} = 1 \text{ V}$$

Pretpostavka je bila tačna, tranzistor M1 jeste u zasićenju!

Sa kola se uočava da je:

$$V_{G2} = V_{DS1} = 10 \text{ V}$$

Pa se napon V_{GS2} može zapisati kao:

$$V_{GS2} = V_{G2} - V_{S2} = V_{G2} - R_S \cdot I_{OUT}$$

Poznato je i da je:

$$V_{S2} = R_S \cdot I_{OUT} = V_{OUT}$$

Pretpostaviti da i tranzistor M2 radi u zasićenju, što bi značilo da je struja I_{OUT} :

$$I_{OUT} = k \cdot (V_{GS2} - V_T)^2 = k \cdot (V_{G2} - R_S \cdot I_{OUT} - V_T)^2$$

Pa se dobija kvadratna jednačina sa rešenjima:

$$(4 \cdot k) \cdot I_{OUT}^2 + (-28 \cdot k - 1) \cdot I_{OUT} + (49 \cdot k) = 0$$

$$I_{OUT1} = 4.57 \text{ A} \quad \text{i} \quad I_{OUT2} = 2.68 \text{ A}$$

Za dobijene vrednosti struja odgovarajući naponi bi bili:

$I_{OUT1} = 4.57 \text{ A}$	$I_{OUT2} = 2.68 \text{ A}$
$V_{OUT} = R_S \cdot I_{OUT1} = 9.14 \text{ V}$	$V_{OUT} = R_S \cdot I_{OUT2} = 5.36 \text{ V}$
$V_{GS2} = V_{G2} - V_{OUT} = 10 - 9.14 = 0.86 \text{ V}$	$V_{GS2} = V_{G2} - V_{OUT} = 10 - 5.36 = 4.64 \text{ V}$
$V_{DS(sat)2} = V_{GS2} - V_T = 0.86 - 3 = -2.14 \text{ V}$	$V_{DS(sat)2} = V_{GS2} - V_T = 4.64 - 3 = 1.64 \text{ V}$

Za vrednost struje I_{OUT1} vrednost napona saturacije nema smisla i to rešenje se odbacuje, a prihvata kao rešenje vrednost struje I_{OUT2} .

Ostalo je odrediti vrednost napona V_{DS2} i proveriti da li je pretpostavka za tranzistor M2 bila tačna.

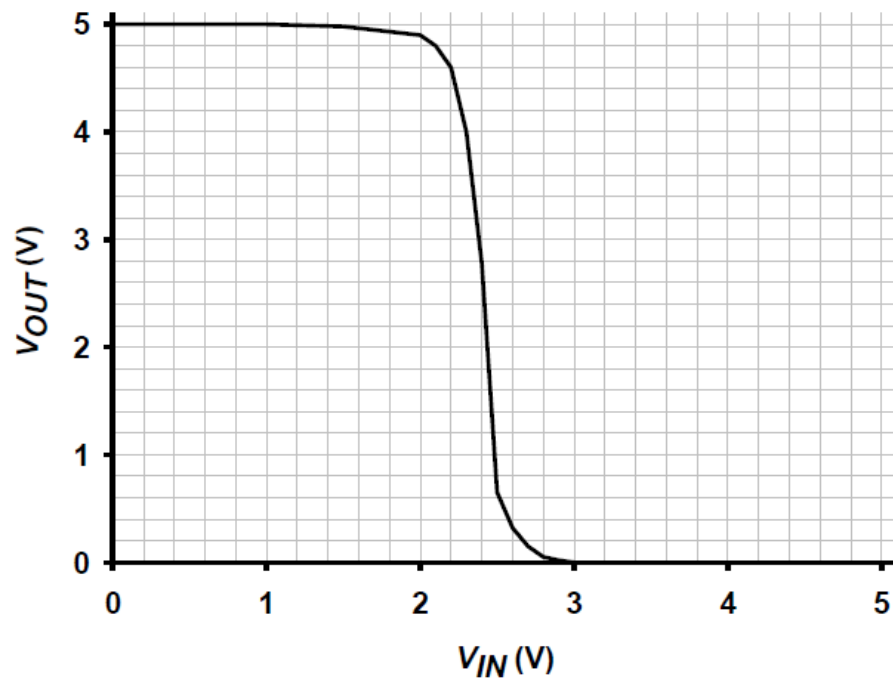
$$V_{DD} = V_{DS2} + V_{OUT} \quad \rightarrow \quad V_{DS2} = V_{DD} - V_{OUT} = 12 - 5.36 = 6.64 \text{ V}$$

S obzirom da je ispunjen uslov:

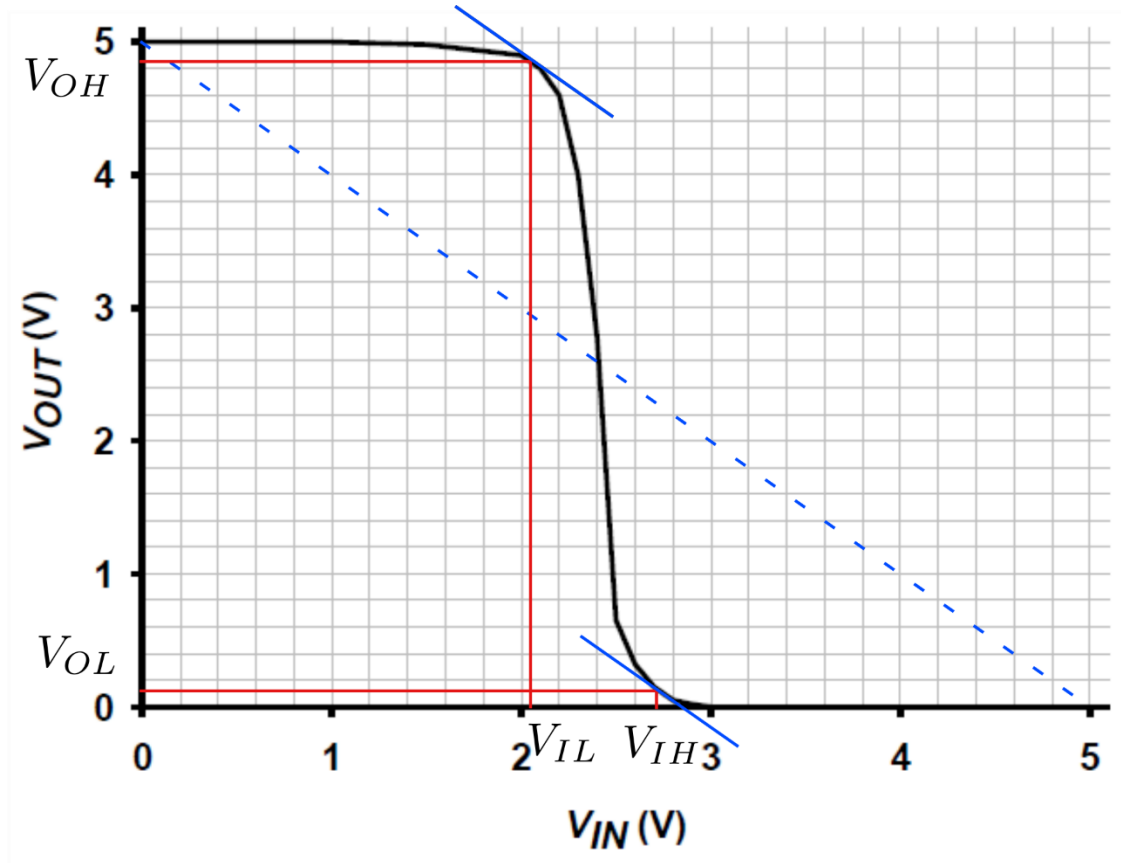
$$V_{DS2} = 6.64 \text{ V} > V_{DS(sat)2} = 1.64 \text{ V}$$

Dolazi se do zaključka da je pretpostavka za tranzistor M2 tačna, pa su dobijene vrednosti regularne.

ZADATAK 9. Na slici je data prenosna karakteristika CMOS invertora. Označiti karakteristične naponske nivoe (V_{IL} , V_{OL} , V_{IH} , V_{OH}), odrediti njihove vrednosti i proračunati margine šuma ovog invertora.



Rešenje:



Grafičkim putem očitane su vrednosti:

$$V_{OH} = 4.83 \text{ V}, V_{OL} = 0.1 \text{ V}, V_{IL} = 2.05 \text{ V}, V_{IH} = 2.7 \text{ V}$$

Pa margine šuma logičke jedinice i logičke nule iznose respektivno:

$$NM_H = V_{OH} - V_{IH} = 4.83 - 2.7 = 2.13 \text{ V}$$

$$NM_L = V_{IL} - V_{OL} = 2.05 - 0.1 = 1.95 \text{ V}$$