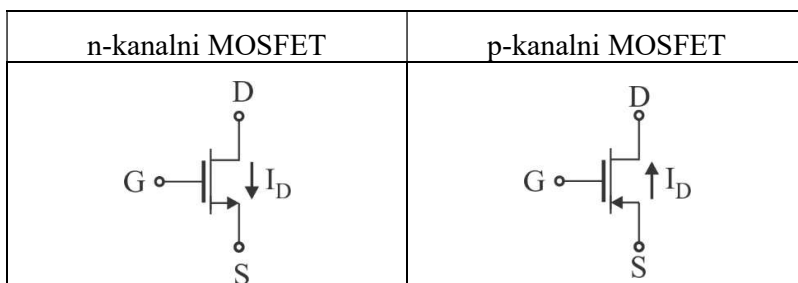


JEDNOSMERNI REŽIM U KOLIMA SA MOSFET TRANZISTORIMA



$$I_D = A \cdot (V_{GS} - V_t)^2 (1 + \lambda V_{DS})$$

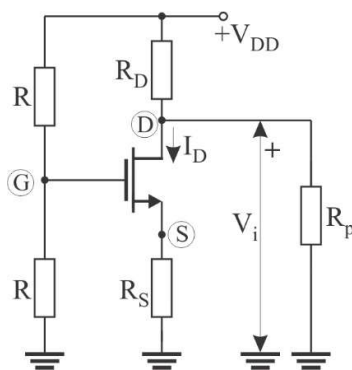
$$I_D \approx A \cdot (V_{GS} - V_t)^2$$

$$A = \frac{1}{2} \mu_n C_0 \frac{W}{L}$$

	n-kanalni	p-kanalni
tranzistor vodi	$V_{GS} > V_t$	$V_{GS} < V_t$
transistor u zasićenju ili aktivnoj oblasti	$V_{DS} \geq V_{GS} - V_t$	$V_{DS} \leq V_{GS} - V_t$

1. ZADATAK

Za temperaturno stabilisani pojačavač sa slike odrediti izlazni napon, V_i . Poznato je: $V_{DD} = 12\text{ V}$; $R_S = 2\text{ k}\Omega$; $R_D = 8\text{ k}\Omega$; $R = 2\text{ M}\Omega$; $R_P = 8\text{ k}\Omega$. Parametri tranzistora su: $A = 0,5\text{ mA/V}^2$; $V_t = 4\text{ V}$; $\lambda = 0$.



Rešenje:

$$(G) \quad \frac{V_G}{R} + \frac{V_G - V_{DD}}{R} = 0$$

$$(S) \quad \frac{V_S}{R_S} - I_D = 0$$

$$(D) \quad \frac{V_D}{R_P} + \frac{V_D - V_{DD}}{R_D} + I_D = 0$$

$$I_D = A \cdot (V_{GS} - V_t)^2$$

$$(G) \quad V_G = \frac{V_{DD} \cdot R}{R+R} = \frac{V_{DD}}{2}$$

$$(S) \quad V_S = I_D \cdot R_S$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = \frac{V_{DD}}{2} - R_S \cdot I_D$$

$$V_{GS} = \frac{V_{DD}}{2} - R_S \cdot A \cdot (V_{GS} - V_t)^2$$

$$V_x = V_{GS} - V_t$$

$$R_S \cdot A \cdot (V_{GS} - V_t)^2 + (V_{GS} - V_t) + V_t - \frac{V_{DD}}{2} = 0$$

$$R_S \cdot A \cdot V_x^2 + V_x + V_t - \frac{V_{DD}}{2} = 0$$

$$V_x^2 + V_x - 2 = 0$$

$$V_x = \frac{-1 \pm \sqrt{1+8}}{2}$$

$$V_{x1} = 1 \text{ V}$$

$$V_{x1} = -2 \text{ V}$$

Mora da bude zadovoljen uslov da je $V_{GS} > V_t$ što je isto kao:

$$V_x > 0$$

Znači prihvatljivo rešenje je $V_{x1} = 1 \text{ V}$

$$I_D = A \cdot (V_{GS} - V_t)^2 = A \cdot V_x^2 = 0,5 \text{ mA}$$

$$(D) V_D = V_{DD} \cdot \frac{R_P}{R_D + R_P} - I_D \cdot \frac{R_P \cdot R_D}{R_D + R_P}$$

$$V_D = 4 \text{ V}$$

Provera da li je tranzistor u režimu zasićenja:

$$V_{DS} = V_D - R_S \cdot I_S = 3 \text{ V}$$

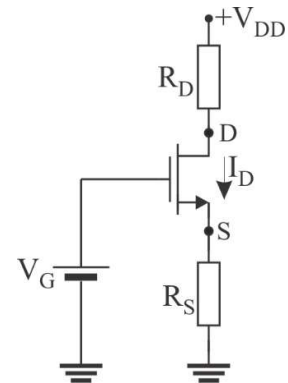
$$V_{DS} > V_{GS} - V_t = 1 \text{ V}$$

2. ZADATAK

Odrediti vrednost napona baterije V_G , tako da se tranzistor u kolu sa slike nalazi na granici između omske oblasti i oblasti zasićenja. Poznato je:

$$A = 1 \text{ mA/V}^2; V_t = 1 \text{ V}; \lambda = 0;$$

$$R_D = 500 \text{ } \Omega; R_S = 500 \text{ } \Omega; V_{DD} = 6 \text{ V}.$$



Rešenje:

$$(S) \frac{V_S}{R_S} - I_D = 0$$

$$(D) \frac{V_D - V_{DD}}{R_D} + I_D = 0$$

$$I_D = A \cdot (V_{GS} - V_t)^2$$

$$V_{DS} = V_{GS} - V_t$$

$$(S) V_S = R_S \cdot I_D$$

$$(D) V_D = V_{DD} - R_D \cdot I_D$$

$$V_{DS} = V_{DD} - R_D \cdot I_D - R_S \cdot I_D = V_{GS} - V_t$$

$$V_{DD} - (R_D + R_S) \cdot A \cdot (V_{GS} - V_t)^2 = V_{GS} - V_t$$

$$V_x = V_{GS} - V_t$$

$$(R_D + R_S) \cdot A \cdot V_x^2 + V_x - V_{DD} = 0$$

$$V_x^2 + V_x - V_{DD} = 0$$

$$V_x = \frac{-1 \pm \sqrt{1 + 24}}{2}$$

$$V_{x1} = 2 \text{ V}$$

$$\cancel{V_{x2} = -3 \text{ V}}$$

Uslov za n-kanalni MOSFET je:

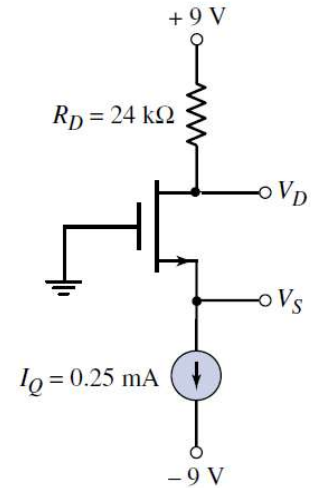
$$V_{GS} > V_t \Rightarrow V_x > 0$$

$$V_{GS} = V_x + V_t = 3 \text{ V}$$

$$V_G = V_S + V_{GS} = R_S \cdot I_D + V_{GS} = R_S \cdot A \cdot (V_{GS} - V_t)^2 + V_{GS} = 5 \text{ V}$$

3. ZADATAK

Za kolo prikazano na slici parametri tranzistora su: $A=0,25 \text{ mA/V}^2$; $V_t=0,6 \text{ V}$ i $\lambda=0 \text{ V}^{-1}$. Odrediti jednosmerni napon na drejnu i sorsu tranzistora



Rešenje:

$$I_D = I_Q = 0,25 \text{ mA}$$

$$(D) I_D + \frac{V_D - V_{DD}}{R_D} = 0$$

$$I_D = A \cdot (V_{GS} - V_t)^2$$

$$(D) V_D = V_{DD} - R_D \cdot I_D$$

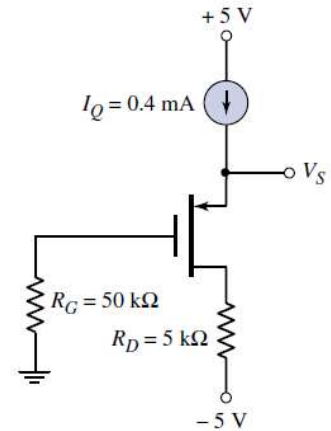
$$V_D = V_{DD} - R_D \cdot I_Q = 9 - 24 \cdot 0,25 = 3 \text{ V}$$

$$V_{GS} = V_t + \sqrt{\frac{I_D}{A}} = 0,6 \text{ V} + \sqrt{\frac{0,25}{0,25}} = 1,6 \text{ V}$$

$$V_S = -V_{GS} = -1,6 \text{ V}$$

4. ZADATAK

Za kolo prikazano na slici parametri tranzistora su: $A=0,1 \text{ mA/V}^2$; $V_t=-0,8 \text{ V}$ i $\lambda=0 \text{ V}^{-1}$. Odrediti jednosmerni napon na drejnu i sorsu tranzistora



Rešenje:

$$I_D = I_Q = 0,4 \text{ mA}$$

$$(D) -I_D + \frac{V_D - V_{DD}}{R_D} = 0$$

$$I_D = A \cdot (V_{GS} - V_t)^2$$

$$(D) V_D = V_{DD} + R_D \cdot I_D$$

$$V_D = -5 \text{ V} + R_D \cdot I_Q = -5 \text{ V} + 5 \cdot 0,4 \text{ V} = -3 \text{ V}$$

$$V_G = 0$$

$V_{GS} < V_{tp}$ Uslov koji važi za P-kanalni MOSFET, zato se uzima negativna vrednost od kvadratnog korena kada se sračunava napon V_{GS}

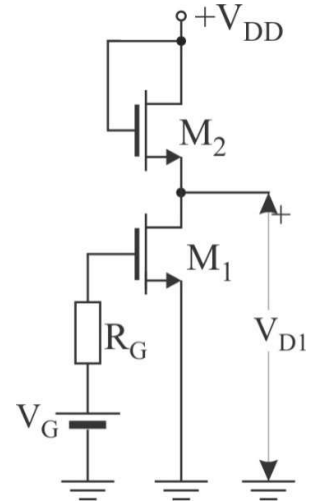
$$(V_{GS} - V_t) = -\sqrt{\frac{I_D}{A}}$$

$$V_{GS} = V_t - \sqrt{\frac{I_D}{A}} = -0,8 \text{ V} - \sqrt{\frac{0,4}{0,1}} = -2,8 \text{ V}$$

$$V_S = V_G - V_{GS} = -V_{GS} = 2,8 \text{ V}$$

5. ZADATAK

U kolu prikazanom na slici upotrebljena su dva n-kanalna MOSFET-a sa indukovanim kanalom, koji su napravljeni od istog materijala. Odnos širina kanala ova dva tranzistora je $W_1/W_2=4$, dok je napon praga jednak za oba i iznosi $V_t=5\text{ V}$; $\lambda_1=\lambda_2=0$. Odrediti napon V_{D1} , ako je: $V_{DD}=20\text{ V}$; $V_G=10\text{ V}$; $R_G=1\text{ M}\Omega$.



Rešenje:

$$I_{D1} = I_{D2}$$

$$I_{D1} = A_1 \cdot (V_{GS1} - V_t)^2$$

$$I_{D2} = A_2 \cdot (V_{GS2} - V_t)^2$$

$$V_{GS1} = V_G$$

$$V_{GS2} = V_{DD} - V_{D1}$$

$$A_1 \cdot (V_G - V_t)^2 = A_2 \cdot (V_{DD} - V_{D1} - V_t)^2$$

$$\sqrt{\frac{A_1}{A_2}} = \frac{V_{DD} - V_{D1} - V_t}{V_G - V_t}$$

$$V_{D1} = V_{DD} - V_t - \sqrt{\frac{A_1}{A_2}} \cdot (V_G - V_t)$$

$$A = \mu_n \cdot \frac{C_0}{2} \cdot \frac{W}{L}$$

Jedino se razlikuju širine kanala, svi ostali parametri u tranzistoru M1 i M2 su isti.

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{W_1}{W_2} = 4$$

$$V_{D1} = V_{DD} - V_t - \sqrt{4} \cdot (V_G - V_t) = 5\text{ V}$$

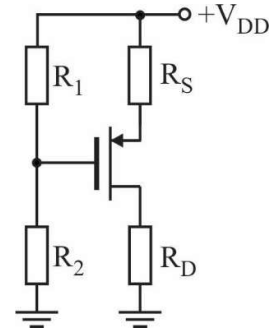
6. ZADATAK

Za kolo prikazano na slici poznato je: $V_{DD}=10\text{ V}$; $R_1=1\text{ M}\Omega$;

$R_2=1,5\text{ M}\Omega$; $R_S=2\text{ k}\Omega$; $R_D=2,5\text{ k}\Omega$.

Parametri tranzistora su: $A=1\text{ mA/V}^2$; $V_t=-1\text{ V}$ i $\lambda=0\text{ V}^{-1}$.

Odrediti jednosmerni napon između drejna i sorsa MOSFET-a.



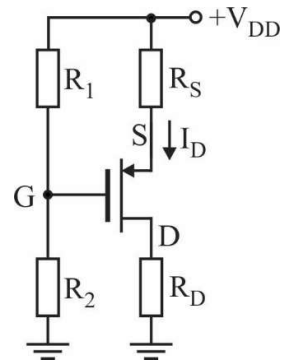
Rešenje:

$$(G) \quad \frac{V_G}{R_2} + \frac{V_G - V_{DD}}{R_1} = 0$$

$$(S) \quad \frac{V_S - V_{DD}}{R_S} + I_D = 0$$

$$(D) \quad \frac{V_D}{R_D} - I_D = 0$$

$$I_D = A \cdot (V_{GS} - V_t)^2$$



$$(G) \quad V_G = \frac{V_{DD} \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 6\text{ V}$$

$$(S) \quad V_S = V_{DD} - I_D \cdot R_S$$

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

$$V_{GS} = V_G - V_{DD} + R_S \cdot A \cdot (V_{GS} - V_t)^2$$

$$V_x = V_{GS} - V_t$$

$$R_S \cdot A \cdot (V_{GS} - V_t)^2 - (V_{GS} - V_t) - V_t + V_G - V_{DD} = 0$$

$$R_S \cdot A \cdot V_x^2 - V_x - V_t + V_G - V_{DD} = 0$$

$$2 \cdot V_x^2 - V_x - 3 = 0$$

$$V_x = \frac{1 \pm \sqrt{1 + 24}}{4}$$

$$V_{x1} = 1,5\text{ V}$$

$$V_{x1} = -1\text{ V}$$

Mora da bude zadovoljen uslov da je $V_{GS} < V_t$ što je isto kao:

$$V_x < 0$$

Znači prihvatljivo rešenje je $V_{x1} = -1 V$

$$I_D = A \cdot (V_{GS} - V_t)^2 = A \cdot V_x^2 = 1 mA$$

$$(D) V_D = R_D \cdot I_D$$

$$V_D = 2,5 V$$

$$V_S = V_{DD} - R_S \cdot I_D = 8 V$$

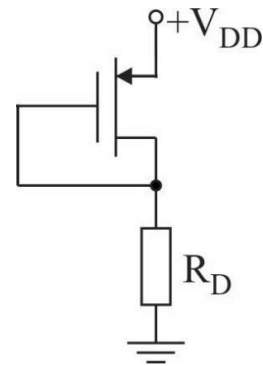
Provera da li je tranzistor u režimu zasićenja:

$$V_{DS} = V_D - V_S = -5,5 V$$

$$V_{DS} < V_{GS} - V_t = -1 V$$

7. ZADATAK

Za kolo prikazano na slici poznato je: $V_{DD}=12 V$;
 $R_D=20 k\Omega$. Parametri tranzistora su: $A=0,2 mA/V^2$;
 $V_t=-1,5 V$ i $\lambda=0 V^{-1}$. Odrediti jednosmerni napon
između drejna i sorsa MOSFET-a.



Rešenje:

$$(G) \quad \frac{V_G}{R_D} - I_D = 0$$

$$I_D = A \cdot (V_{GS} - V_t)^2$$

$$V_G = A \cdot R_D \cdot (V_{GS} - V_t)^2$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_G - V_{DD}$$

$$V_{GS} = A \cdot R_D \cdot (V_{GS} - V_t)^2 - V_{DD}$$

$$R_D \cdot A \cdot (V_{GS} - V_t)^2 - (V_{GS} - V_t) - V_t - V_{DD} = 0$$

$$V_x = V_{GS} - V_t$$

$$R_D \cdot A \cdot V_x^2 - V_x - V_t - V_{DD} = 0$$

$$4 \cdot V_x^2 - V_x - 10,5 = 0$$

$$V_x = \frac{1 \pm \sqrt{1 + 168}}{8}$$

$$V_{x1} = 1,75 \text{ V}$$

$$V_{x1} = -1,5 \text{ V}$$

Mora da bude zadovoljen uslov da je $V_{GS} < V_t$ što je isto kao:

$$V_x < 0$$

Znači prihvatljivo rešenje je $V_{x1} = -1,5 \text{ V}$

$$I_D = A \cdot (V_{GS} - V_t)^2 = A \cdot V_x^2 = 0,45 \text{ mA}$$

$$(G) \quad V_D = R_D \cdot I_D$$

$$V_D = 9 \text{ V}$$

$$V_{DS} = V_D - V_{DD} = -3 \text{ V}$$

Provera da li je tranzistor u režimu zasićenja:

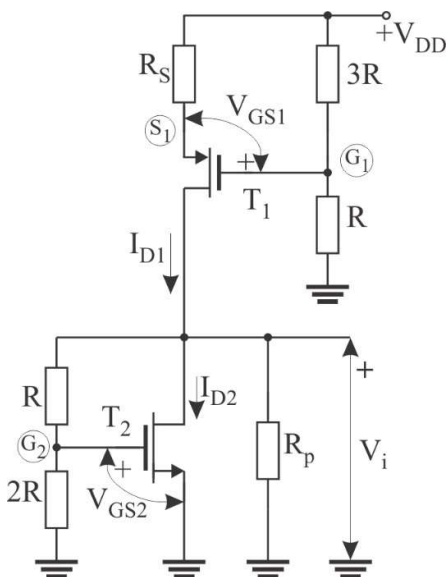
$$V_{DS} = V_D - V_S = -3 \text{ V}$$

$$V_{DS} < V_{GS} - V_t = -1,5 \text{ V}$$

8. ZADATAK

Odrediti vrednost napona na potrošaču u kolu prikazanom na slici, pod uslovom da je poznato: $A_1 = 1 \text{ mA/V}^2$; $A_2 = 2 \text{ mA/V}^2$; $V_{t1} = -3 \text{ V}$; $V_{t2} = 2 \text{ V}$; $\lambda_1 = \lambda_2 = 0$; $R_S = 1 \text{ k}\Omega$; $R_p = 6 \text{ k}\Omega$; $R = 10 \text{ M}\Omega$; $V_{DD} = 20 \text{ V}$. Proveriti radne režime oba tranzistora.

Rešenje:



$$(G1) \quad \frac{V_{G1}}{R} + \frac{V_{G1} - V_{DD}}{3 \cdot R} = 0$$

$$(S1) \quad \frac{V_{S1} - V_{DD}}{R_S} + I_{D1} = 0$$

$$(G2) \quad \frac{V_{G2}}{2R} + \frac{(V_{G2} - V_i)}{R} = 0$$

$$(D2) \quad \frac{V_i}{R_p} + \frac{V_i}{3 \cdot R} + I_{D2} - I_{D1} = 0$$

$$I_{D1} = A_1 \cdot (V_{GS1} - V_{t1})^2$$

$$I_{D2} = A_2 \cdot (V_{GS2} - V_{t2})^2$$

Najpre se određuje struja I_{D1} jer ona zavisi samo od potencijala u čvorovima S1 i G1.

$$(G1) \quad V_{G1} = \frac{V_{DD}}{4}$$

$$(S1) \quad V_{S1} = V_{DD} - R_S \cdot I_{D1}$$

$$I_{D1} = A_1 \cdot (V_{GS1} - V_{t1})^2$$

$$V_{GS1} = \frac{V_{DD}}{4} - V_{DD} + R_S \cdot I_{D1}$$

$$V_{GS1} = \frac{V_{DD}}{4} - V_{DD} + R_S \cdot A_1 \cdot (V_{GS1} - V_{t1})^2$$

$$R_S \cdot A_1 \cdot (V_{GS1} - V_{t1})^2 - V_{GS1} + \frac{V_{DD}}{4} - V_{DD} = 0$$

$$R_S \cdot A_1 \cdot V_x^2 - V_x - V_{t1} - \frac{3}{4} \cdot V_{DD} = 0$$

$$V_x^2 - V_x - 12 = 0$$

$$V_x = \frac{1 \pm \sqrt{1 + 48}}{2} = \frac{1 \pm 7}{2}$$

$$V_{x1} = 4 \text{ V}$$

$$V_{x2} = -3 \text{ V}$$

Uslov da P-kanalni MOSFET vodi je:

$$V_{GS} < V_{t1}$$

$$V_x < 0 \Rightarrow V_x = -3 \text{ V}$$

$$V_{GS1} = V_x + V_{t1} = -6 \text{ V}$$

$$I_{D1} = A_1 \cdot (V_{GS1} - V_{t1})^2 = 9 \text{ mA}$$

Sistem jednačina koji opisuje deo kola oko tranzistora T2

$$(G2) \quad V_{G2} = \frac{2}{3} \cdot V_i$$

$$(D2) \quad \frac{V_i}{R_p} + \frac{V_i}{3 \cdot R} + A_2 \cdot (V_{GS2} - V_{t2})^2 - I_{D1} = 0$$

$$V_{GS2} = V_{G2} = \frac{2}{3} \cdot V_i$$

$$A_2 \cdot (V_{GS} - V_{t2})^2 + \frac{3}{2} \cdot V_{GS2} \cdot \left(\frac{1}{R_p} + \frac{1}{3 \cdot R} \right) - I_{D1} = 0$$

$$A_2 \cdot V_{GS2}^2 + V_{GS2} \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \left(\frac{1}{R_p} + \frac{1}{3 \cdot R} \right) - 2 \cdot A_2 \cdot V_{t2} \right] + V_{t2}^2 \cdot A_2 - I_{D1} = 0$$

$$2 \cdot V_{GS2}^2 + V_{GS2} \cdot \left(-\frac{31}{4} \right) - 1 = 0$$

$$V_{GS} = \begin{cases} 4 \text{ V} \\ -0,125 \text{ V} \end{cases}$$

Za N-kanalni MOSFET uslov je $V_{GS} > V_t$

$$V_{GS} = 4 \text{ V}$$

$$V_i = \frac{3}{2} \cdot V_{G2} = \frac{3}{2} \cdot V_{GS} = 6 \text{ V}$$

Provera režima rada tranzistora:

$$V_{DS} = V_i = 6 \text{ V}$$

$$V_{GS2} = 4 \text{ V}$$

$V_{DS2} > V_{GS} - V_{t2} = 2$ Ispunjen je uslov da tranzistor T2 bude u oblasti zasićenja.

$$V_{S1} = V_{DD} - R_s \cdot I_{D1} = 11 \text{ V}$$

$$V_{DS1} = V_i - V_{S1} = -5 \text{ V}$$

$$V_{DS} < V_{GS1} - V_{t1} = -3 \text{ V} \quad \text{Ispunjen je uslov da tranzistor T1 bude u oblasti zasićenja.}$$