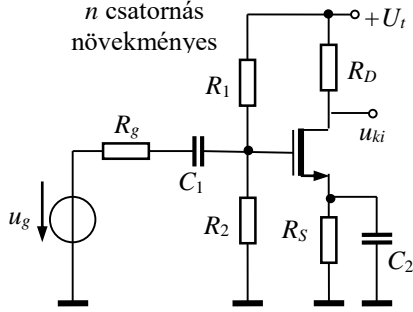
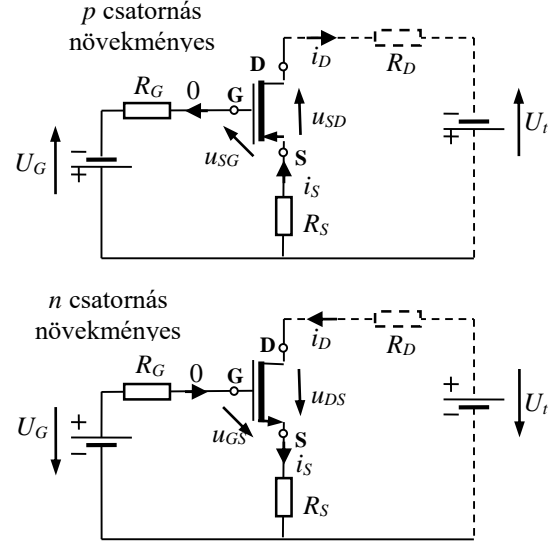
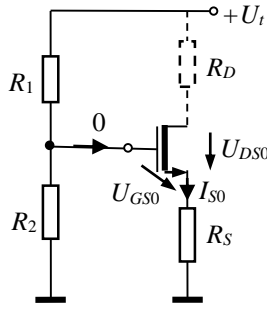


FET-ek munkapont beállítása és kivezérelhetősége

A kapcsolás:



Munkapont számításhoz:
($u_g=0$, egyenáram)



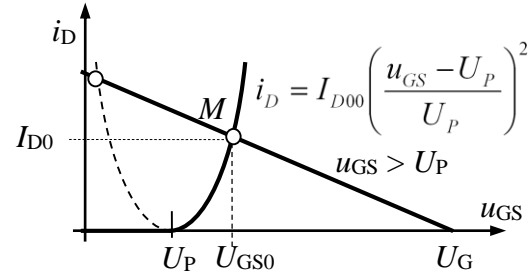
Elzáródás feletti (saturation) tartomány, ahol az eszközeinket használjuk:

$$u_{GS} > U_p, \quad u_{GD} < U_p, \quad u_{DS} > U_{GS} - U_p \quad i_D > 0$$

A munkapont meghatározása:

$$1.) \quad U_G = u_{GS} + i_D R_S, \quad i_D = i_S$$

$$2.) \quad i_D = \begin{cases} I_{D00} \left(\frac{u_{GS} - U_p}{U_p} \right)^2 & \text{ha } u_{GS} > U_p \\ 0 & \text{ha } u_{GS} \leq U_p \end{cases}$$

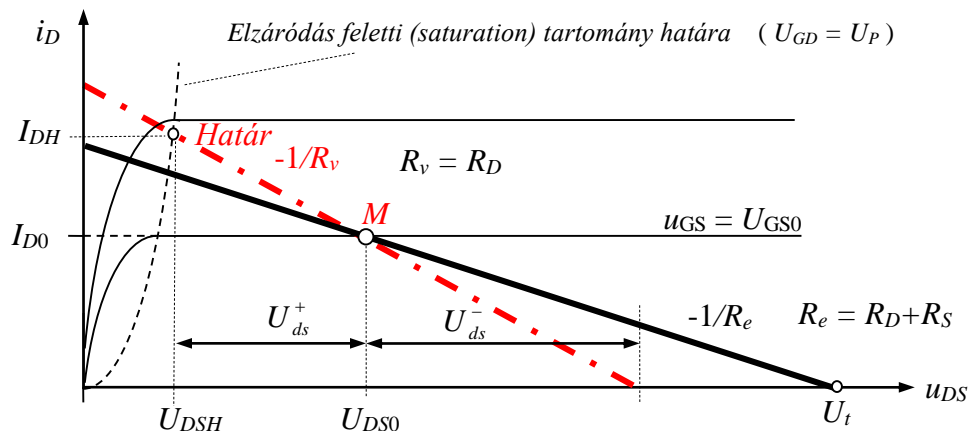


A két ismeretlenes, másodfokú egyenletrendszer megoldása:

$$u_{GS} = U_{GS0} \geq U_p, \quad i_D = I_{D0} \geq 0$$

Kivezérelhetőség:

A kimeneti karakterisztika:



Már ismert a munkaponti áram: I_{D0}

$$U_{DS0} = U_t - R_e I_{D0} \quad R_e = R_D + R_S$$

1.) A váltóáramú munkaegyenest egyenlete: $(u_{DS} - U_{DS0}) = -R_v (i_D - I_{D0})$

2.) Az elzáródási tartomány határa: $i_D = I_{D00} \left(\frac{u_{DS}}{U_P} \right)^2$

A két ismeretlenes egyenletrendszer megoldása: $(i_D = I_{DH}, u_{DS} = U_{DSH})$

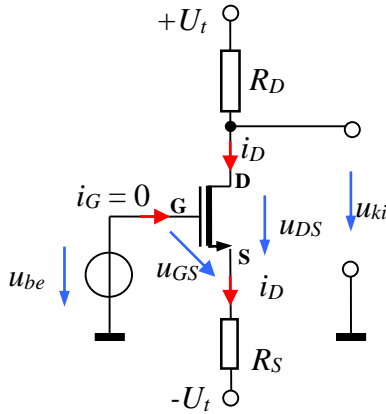
Ezek ismeretében:

$$U_{ds}^+ = U_{DS0} - U_{DSH}$$

és

$$U_{ds}^- = R_v I_{D0}$$

1.) Feladat Tranzisztor: n - csatornás, növekményes MOSFET: $I_{D00} = 4 \text{ mA}$, $U_P = 4 \text{ V}$



$$U_t = 10 \text{ V}, \quad R_D = 6 \text{ k}\Omega, \quad R_S = 4 \text{ k}\Omega,$$

a.) $I_{D0} = ?$, $U_{GS0} = ?$

b.) $U_{DS0} = ?$, $U_{ki0} = ?$

c.) $U_{ki}^+ = ?$

d.) $U_{ki}^- = ?$

A Drain áram:

Az elz. tart. hat.:

$$i_D = I_{D00} \left(\frac{u_{GS} - U_P}{U_P} \right)^2$$

$$i_D = I_{D00} \left(\frac{u_{DS}}{U_P} \right)^2$$

Megoldás:

a.) $I_{D0} = ?$, $U_{GS0} = ?$ ($u_{be} = 0$)

$$U_t = u_{GS} + i_D R_S$$

$$i_D = \begin{cases} I_{D00} \left(\frac{u_{GS} - U_P}{U_P} \right)^2 & \text{ha } u_{GS} > U_P \\ 0 & \text{ha } u_{GS} \leq U_P \end{cases}$$

Numerikusan:

$$i_D = \frac{U_t - u_{GS}}{R_S} = \frac{10 - u_{GS}}{4} = 4 \left(\frac{u_{GS} - 4}{4} \right)^2$$

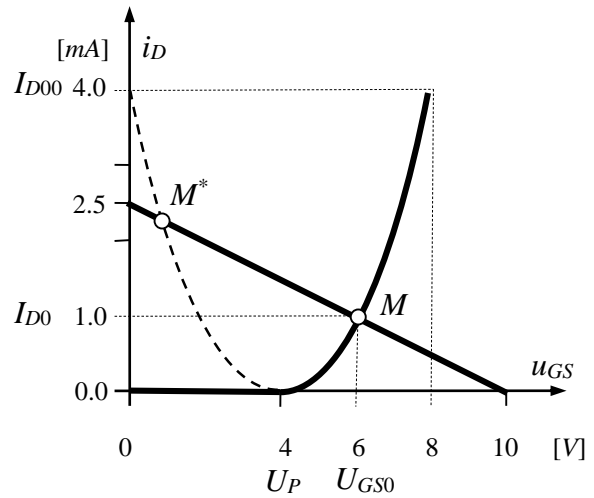
$$(u_{GS} - 4)^2 = 10 - u_{GS} \quad u_{GS}^2 - 7u_{GS} + 6 = 0$$

$$\text{Amiből: } u_{GS} = U_{GS0} = \frac{7 + \sqrt{49 - 24}}{2} = 6 \text{ V} > U_P \quad I_{S0} = I_{D0} = \frac{U_t - U_{GS0}}{R_S} = \frac{10 - 6}{4} = 1 \text{ mA}$$

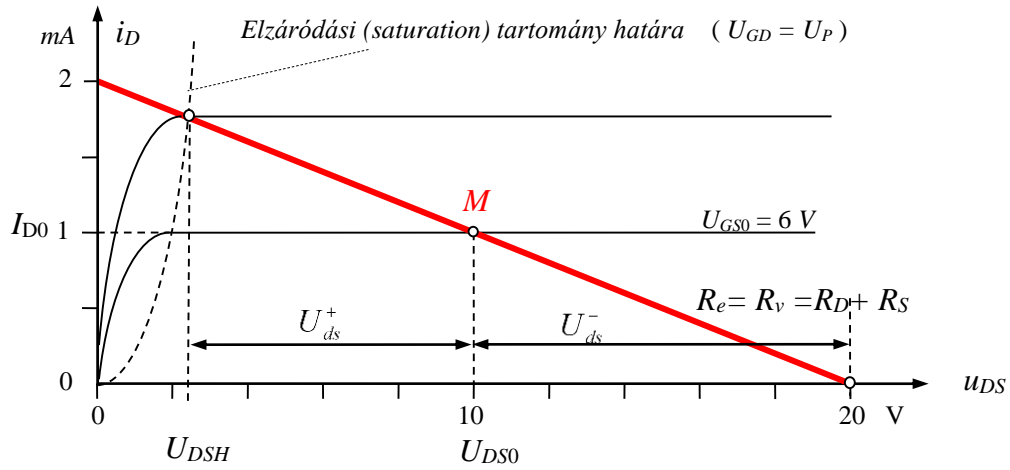
b.) $U_{DS0} = ?$

$$U_{DS0} = 2U_t - I_{D0}(R_D + R_S) = 20 - 1 \cdot 10 = 10 \text{ V}$$

$$U_{ki0} = U_t - I_{D0} R_D = 10 - 1 \cdot 6 = 4 \text{ V}$$



c.) $U_{ki}^+ = ?$ d.) $U_{ki}^- = ?$ A munkaegyenes és a munkapont:



Az elzáródási tartomány határa: $i_D = I_{D00} \left(\frac{u_{DS}}{U_P} \right)^2 = \frac{1}{4} u_{DS}^2$

A munkaegyenes egyenlete: $2U_t = u_{DS} + i_D (R_D + R_S) \rightarrow i_D = \frac{20 - u_{DS}}{10}$

A két görbe metszéspontjára:

$$u_{DS}^2 + 0.4u_{DS} - 8 = 0 \rightarrow u_{DS} = U_{DSH} = \frac{-0.4 + \sqrt{0.16 + 32}}{2} = 2.64 \text{ V}$$

A kivezérelhetőségek:

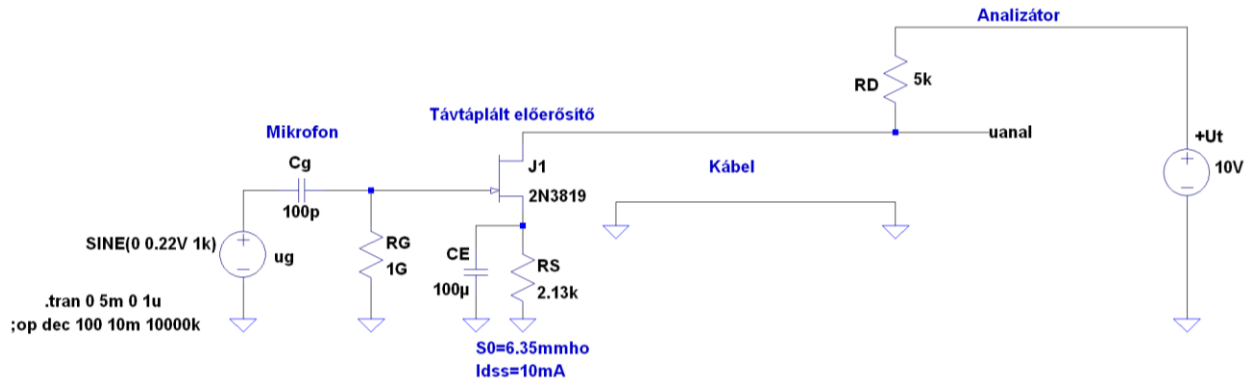
$$U_{ds}^+ = U_{DS0} - U_{DSH} = 10 - 2.64 = 7.36 \text{ V} \quad U_{ki}^+ = U_{ds}^+ \frac{R_D}{R_S + R_D} = 7.36 \frac{6}{10} = 4.46 \text{ V}$$

$$U_{ds}^- = R_v I_{D0} = 10 * 1 = 10 \text{ V} \quad U_{ki}^- = U_{ds}^- \frac{R_D}{R_S + R_D} = 10 \frac{6}{10} = 6 \text{ V}$$

2.) Feladat. A kapcsolási rajzon egy mikrofon (ug generátor), egy erősítő kapcsolás (J1 JFET), egy kábel, valamint egy távoli akusztikai analízátor látható, amit az R_D ellenállással és az U_t tápfeszültség forrással modellezzük.

Adatok: Tranzisztor: 2N3819 típusú n -csatornás JFET. A JFET adatlapjában a drain áram szaturációs értékére $I_{DSS} = 10 \text{ mA}$ -t, és az $u_{GS} = 0$ esetén mérhető meredekségre $S_0 = 6.35 \text{ mmho}$ értékeket találtuk.

Egyéb paraméterek: $U_t = 10 \text{ V}$, $R_G = 1 \text{ G}\Omega$, $R_S = 2.13 \text{ k}\Omega$, $R_D = 5 \text{ k}\Omega$. A CE kapacitást végtelennek vesszük.



- $U_P = ?$
- $I_{D0} = ?$, $S_{I_{D0}} = ?$
- $U_{anal0} = ?$,
- $U_{anal}^- = ?$ $U_{anal}^+ = ?$

Megoldás

a.)

$$i_D = I_{DSS} \left(\frac{u_{GS} - U_P}{U_P} \right)^2, \quad S = \frac{di_D}{du_{GS}} = \frac{2}{U_P^2} I_{DSS} (u_{GS} - U_P)$$

$$S_0 = \frac{2}{U_P^2} I_{DSS} (-U_P) = -\frac{2I_{DSS}}{U_P}$$

$$U_P = -\frac{2I_{DSS}}{S_0} = -\frac{2 \cdot 10 \text{ mA}}{6.35 \text{ m}\frac{\text{A}}{\text{V}}} = -3.15 \text{ V}$$

b.) Mivel R_G -n nem folyik áram:

$$0 = u_{GS} + i_D R_S \quad i_D = \begin{cases} I_{DSS} \left(\frac{u_{GS} - U_P}{U_P} \right)^2 & \text{ha } u_{GS} > U_P \\ 0 & \text{ha } u_{GS} \leq U_P \end{cases}$$

Numerikusan:

$$i_D = \frac{-u_{GS}}{R_s} = \frac{-u_{GS}}{2,13} = 10 \left(\frac{u_{GS} + 3,15}{-3,15} \right)^2 \quad 21,3(u_{GS} + 3,15)^2 = -3,15^2 u_{GS}$$

$$21,3(u_{GS}^2 + 6,3u_{GS} + 9,92) = -9,92u_{GS} \quad u_{GS}^2 + 6,3u_{GS} + 9,92 = -0,46u_{GS}$$

$$u_{GS}^2 + 6,76u_{GS} + 9,92 = 0$$

Amiből: $u_{GS} = U_{GS0} = \frac{-6,76 + \sqrt{45,69 - 39,68}}{2} = -2,13 \text{ V} > U_P$, $I_{D0} = \frac{-U_{GS0}}{R_s} = \frac{2,13}{2,13} = 1 \text{ mA}$

$$S = \frac{2}{U_P} I_{DSS} \frac{u_{GS} - U_P}{U_P} = -S_0 \frac{u_{GS} - U_P}{U_P} = -6,35 \text{ mS} \frac{-2,13 + 3,15}{-3,15} = 2 \text{ mS} \quad (\text{A szaturációs áramhoz } (I_{DSS}) \text{ megadott meredekségből, a munkaponti meredekség könnyen átszámítható.})$$

c.) $U_{anal0} = U_t - I_{S0} R_D = 10 - 1 * 5 = 5 \text{ V}$

d.)

$$R_v = R_D = 5 \text{ kOhm} \quad R_e = R_D + R_s = 5 + 2,13 = 7,13 \text{ kOhm}$$

$$U_{DS0} = U_t - I_{S0} R_e = 10 - 1 * 7,13 = 2,87 \text{ V}$$

Az elzáródási tartomány határa: $i_D = I_{D00} \left(\frac{u_{DS}}{U_P} \right)^2 = u_{DS}^2$

A váltóáramú munkaegyenés és az elzáródási határ egyenlete:

1.) $u_{DS} - U_{DS0} = -R_v (i_D - I_{D0})$

2.) $i_D = I_{D00} \left(\frac{u_{DS}}{U_P} \right)^2 = u_{DS}^2$

$$u_{DS} - U_{DS0} = -R_v (u_{DS}^2 - I_{D0})$$

$$u_{DS} - 2,87 = -5u_{DS}^2 + 5$$

$$5u_{DS}^2 + u_{DS} - 7,87 = 0$$

$$u_{DS} = U_{DSH} = \frac{-1 + \sqrt{1 + 157,4}}{10} = 1,16 \text{ V}$$

A kivezérelhetőségek:

$$U_{ds}^+ = U_{DS0} - U_{DSH} = 2,87 - 1,16 = 1,71 \text{ V} \quad U_{anal}^+ = U_{ds}^+ = 1,71 \text{ V}$$

$$U_{ds}^- = R_v I_{D0} = 5 * 1 = 5 \text{ V} \quad U_{anal}^- = U_{ds}^- = 5 \text{ V}$$

A legnagyobb kivehető szinuszos jel amplitúdó 1,71 V.

3.) Feladat

Tranzisztor:

n - csatornás, növekményes MOSFET: $I_{D00} = 20 \text{ mA}$, $U_P = 2 \text{ V}$

$U_t = 9 \text{ V}$, $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_S = 680 \Omega$, $R_t = 10 \Omega$

A transzformátor áttétele: $n:1 = 10:1$

A széles sávú transzformátor veszteség mentes.

a.) $R_2 = ?$ ha $I_{D0} = 5 \text{ mA}$

b.) $U_{DS0} = ?$

c.) $U_{ki}^+ = ?$

d.) $U_{ki}^- = ?$

Megoldás:

$$U_{GS0} = U_P \left(\sqrt{\frac{I_{D0}}{I_{D00}}} + 1 \right) = 2 \left(\sqrt{1/4} + 1 \right) = 3 \text{ V}$$

$$U_{G0} = U_{GS0} + R_S I_{D0} = 3 + 0.68 * 5 = 6.4 \text{ V}$$

Az R_1 árama: $I_{R1} = \frac{(U_t - U_{G0})}{R_1} = \frac{9 - 6.4}{10} = 0.26 \text{ mA}$

Ugyanez az áram hozza létre az U_{G0} -t az R_2 -n áthaladva, tehát:

$$R_2 = \frac{U_{G0}}{I_{R1}} = \frac{6.4}{0.26} = 24.6 \text{ k}$$

b.) $U_{DS0} = ?$

$$U_{DS0} = U_t - R_S I_{D0} = 9 - 0.68 * 5 = 5.6 \text{ V} \quad (R_e = R_S)$$

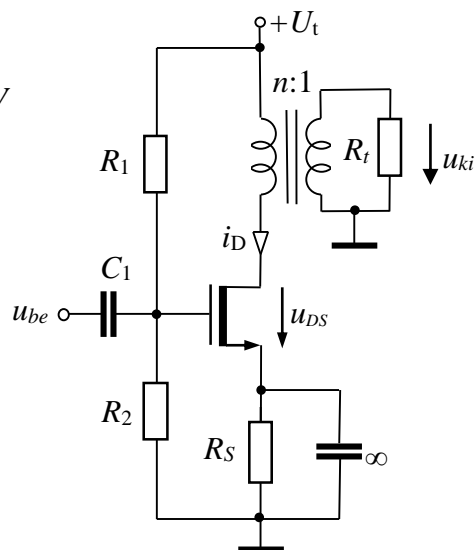
c.) $U_{ki}^+ = ? \quad R_v = n^2 R_t = 100 * 0.010 = 1 \text{ k}\Omega$

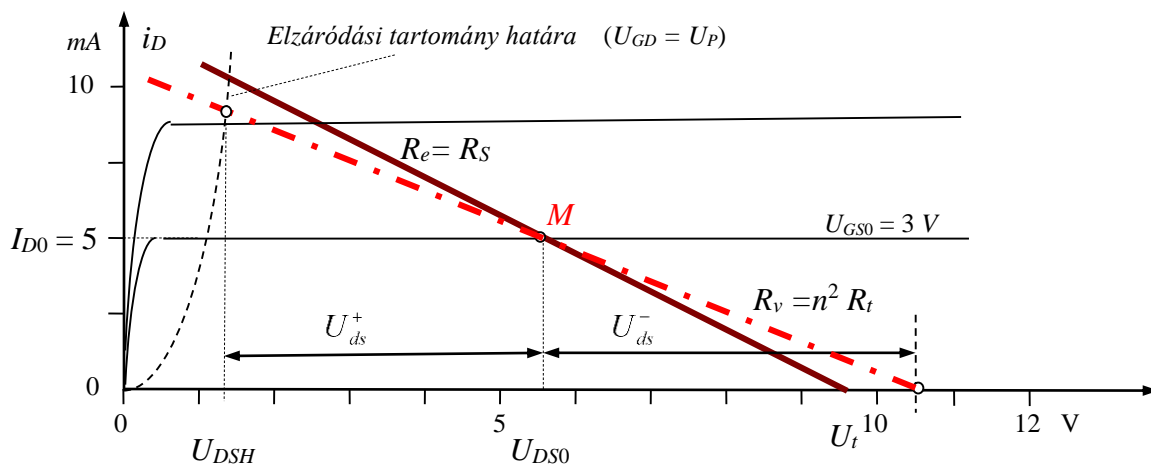
1.) $(u_{DS} - U_{DS0}) = -R_v (i_D - I_{D0})$

2.) $i_D = I_{D00} \left(\frac{u_{DS}}{U_P} \right)^2 > 5U_{DS}^2 + U_{DS} - 10.6 = 0$

$$U_{DS12} = \frac{-1 \pm \sqrt{1 + 20 * 10.6}}{10} = 1.36 \text{ V} \text{ másik hamis gyök.}$$

$$U_{DSH} = U_{DS12}$$

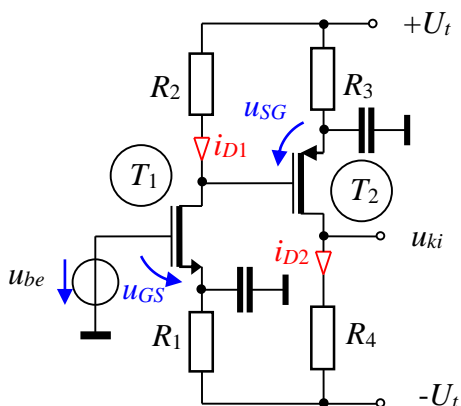




$$U_{DS}^+ = U_{DS0} - U_{DSH} = 5.6 - 1.36 = 4.24 \quad U_{ki}^+ = U_{DS}^+ / n = 0.42V$$

$$d.) \quad U_{ki}^- = ? \quad U_{ds}^- = R_v I_{D0} = 5V \quad U_{ki}^- = U_{ds}^- / n = 0.500V$$

4.) Feladat Számítsa ki az alábbi kapcsolás munkapontjait és kivezérelhetőségét!



T_1 n csatornás MOS FET, $I_{D00} = 4mA$, $U_P = 2V$
 T_2 p csatornás MOS FET, $I_{D00} = 4mA$, $U_P = 2V$

$$U_t = 15V \quad R_1 = R_2 = 12k\Omega, \quad R_3 = 9k\Omega, \quad R_4 = 6k\Omega$$

$$a.) \quad I_{D01} = ? , \quad U_{GS01} = ?$$

$$b.) \quad I_{D02} = ? , \quad U_{SG02} = ?$$

$$c.) \quad U_{ki}^+ = ?$$

$$d.) \quad U_{ki}^- = ?$$

Megoldás:

$$a.) \quad I_{D01} = ? , \quad U_{GS01} = ?$$

$$1.) \quad U_t = u_{GS} + i_{D1} R_1 \quad 2.) \quad i_{D1} = I_{D00} \left(\frac{u_{GS} - U_P}{U_P} \right)^2 = (u_{GS} - 2)^2$$

$$12(u_{GS} - 2)^2 + u_{GS} - 15 = 0 \quad 12u_{GS}^2 - 47u_{GS} + 33 = 0 \quad u_{GS} = U_{GS01} = \frac{47 + \sqrt{625}}{24} = 3V > U_P = 2V$$

$$i_D = I_{D01} = (u_{GS} - 2)^2 = 1mA$$

$$b.) \quad I_{D02} = ? , \quad U_{SG02} = ?$$

$$1.) \quad R_2 I_{D01} = R_3 i_{D2} + u_{SG} \quad 2.) \quad i_{D2} = I_{D00} \left(\frac{u_{SG} - U_P}{U_P} \right)^2 = (u_{SG} - 2)^2$$

$$9(u_{SG} - 2)^2 + u_{GS} - 12 = 0 \quad 9u_{SG}^2 - 35u_{SG} + 24 = 0$$

$$u_{SG} = U_{SG02} = \frac{35 + \sqrt{1225 - 864}}{18} = 3 \text{ V} > U_P = 2 \text{ V}$$

$$i_{D2} = I_{D02} = (u_{SG} - 2)^2 = 1 \text{ mA}$$

c.) $U_{ki}^+ = ?$

$$2U_t = U_{SD02} + I_{D02}(R_3 + R_4)$$

$$U_{SD02} = 30 - 1(9 + 6) = 15 \text{ V}$$

$$1.) (u_{SD} - U_{SD02}) = -R_4(i_{D2} - I_{D02}) \quad (u_{SD} - 15) = -6(i_{D2} - 1)$$

$$2.) i_{D2} = I_{D00} \left(\frac{u_{SD}}{U_P} \right)^2 \quad i_{D2} = 4 \left(\frac{u_{SD}}{2} \right)^2 = u_{SD}^2$$

$$6u_{SD}^2 + u_{SD} - 21 = 0 \quad U_{SD} = U_{SDH} = \frac{-1 \pm \sqrt{1 + 504}}{12} = 1.79 \text{ V}$$

$$U_{ki}^+ = U_{SD}^+ = U_{SD02} - U_{SDH} = 13.2 \text{ V}$$

d.) $U_{ki}^- = ?$

$$U_{ki}^- = U_{sd}^- = R_v I_{D02} = 6 \text{ V}$$