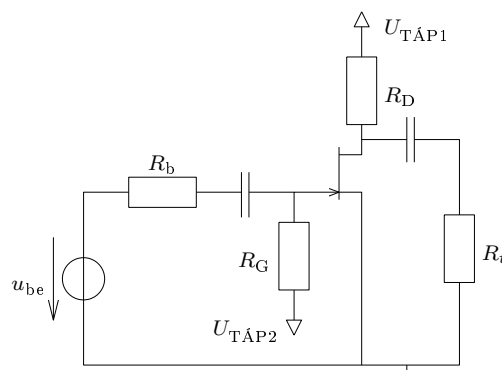


## Elektronika, negyedik gyakorlat

1. Vizsgáljuk az ábrán látható áramkört a következő adatok mellett

$$\begin{aligned} U_{T\dot{A}P1} &= 15 \text{ V}, & U_{T\dot{A}P2} &= -2,5 \text{ V}, \\ I_{DSS} &= 10 \text{ mA}, & U_p &= -5 \text{ V}, \\ R_D &= 3 \text{ k}\Omega, & R_G &= 1 \text{ M}\Omega, \\ R_t &= 10 \text{ k}\Omega, & R_b &= 50 \Omega. \end{aligned}$$



Kapcsolás

- (a) Melyik alapkapcsolást valósítja meg az áramkör?

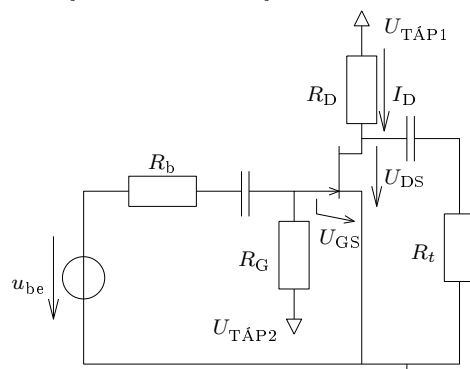
### Megoldás

Ez egy földelt source-ú alapkapcsolás.

- (b) Mik az áramkör munkaponti adatai?

### Megoldás

A megoldáshoz az alábbi ábra jelöléseit használjuk.



A megoldásban használt jelölések

A munkaponti adatok

$$U_{GS} = U_{T\hat{A}P2} = -2,5 \text{ V},$$

$$I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{U_{GS}}{U_p} \right)^2 = 2,5 \text{ mA},$$

$$U_{DS} = U_{T\hat{A}P1} - I_D R_D = 7,5 \text{ V}.$$

(c) Mekkora az erősítőkapcsolás üresjárási és üzemi feszültségerősítése?

**Megoldás**

Az üzemi feszültségerősítés

$$A_{\text{üzemi}} = -g_m (R_D \times R_t (\times r_{DS})) \simeq -g_m (R_D \times R_t) = -4,6154,$$

Az üresjárási feszültségerősítés

$$A_{\text{üres}} \simeq -g_m R_D = -6,$$

ahol a tranzistor meredeksége

$$g_m = -\frac{2I_{DSS}}{U_p} \left( 1 - \frac{U_{GS}}{U_p} \right) = 2 \text{ mS}.$$

(d) Mekkora az erősítő bemeneti és kimeneti ellenállása?

**Megoldás**

A bemeneti ellenállás

$$R_{be} = R_G = 1 \text{ M}\Omega,$$

a kimeneti ellenállás

$$R_{ki} = R_D (\times r_{DS}) \simeq R_D = 3 \text{ k}\Omega.$$

2. Adott az ábra szerinti földelt source-ú alapkapsolás a következő paraméterekkel

$$U_{T\hat{A}P} = 20 \text{ V},$$

$$R_G = 1 \text{ M}\Omega,$$

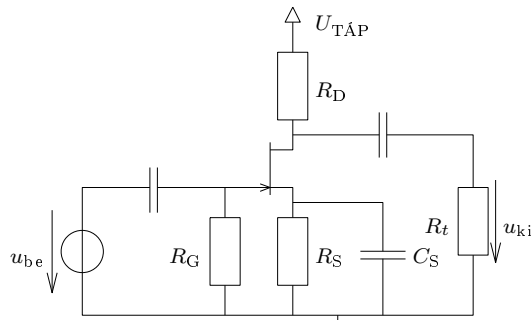
$$R_D = 1 \text{ k}\Omega,$$

$$R_t = 10 \text{ k}\Omega,$$

$$I_{DSS} = 15 \text{ mA},$$

$$U_p = -5 \text{ V},$$

$$r_{DS} = 50 \text{ k}\Omega.$$

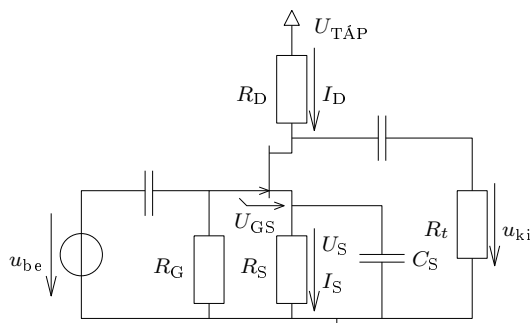


A vizsgált kapcsolás

- (a) Állítsd be a draináramát  $I_D = 10 \text{ mA}$ -re!

### Megoldás

A megoldásokat a következő jelölések segítségével határozzuk meg.



Jelölések a hálózatban

A kívánt áramot a source-munkaellenállás segítségével állítjuk be

$$I_D = I_S = \frac{U_S}{R_S}.$$

Ehhez először meg kell határozni a gate-source-feszültséget a tranzisztorkarakterisztika segítségével

$$I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{U_{GS}}{U_p} \right)^2,$$

ahonnan

$$U_{GS} = U_p \left( 1 - \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}} \right) = -0,9175 \text{ V}.$$

Mivel a gate  $R_G$ -n keresztül a földön van, ezért

$$U_S = -U_{GS} = 0,9175 \text{ V}.$$

Ezzel ismerjük a source-munkaellenálláson eső feszültséget és az áramát – hiszen  $I_S = I_D = 10 \text{ mA}$  – így az ellenállás értéke meghatározható az Ohm-törvény segítségével

$$R_S = \frac{U_S}{I_S} = 91,7517 \Omega.$$

- (b) Mekkora a kapcsolás feszültségerősítése? Add meg a feszültségerősítést dB-ben is!

### Megoldás

Mivel terhelt erősítőkapcsolásról van szó az üzemi feszültségerősítés

$$A_{\text{üzemi}} \simeq -g_m (R_D \times r_{DS} \times R_t) = -4,3741,$$

ahol a tranzisztor meredeksége

$$g_m = -\frac{2I_{DSS}}{U_p} \left( 1 - \frac{U_{GS}}{U_p} \right) = 4,899 \text{ mS}.$$

A feszültségerősítés dB-ben

$$A_{\text{üzemi}} [\text{dB}] = 20 \lg |A_{\text{üzemi}}| = 12,8178 \text{ dB}.$$

(c) Mekkora a kapcsolás bemeneti és kimeneti ellenállása?

**Megoldás**

A bemeneti ellenállás

$$R_{be} = R_G = 1 \text{ M}\Omega,$$

a kimeneti ellenállás

$$R_{ki} = R_D \times r_{DS} = 980,3922 \text{ k}\Omega.$$

3. Vizsgáljuk az ábrán látható kapcsolást a következő paraméterekkel

$$U_{T\ddot{A}P} = 15 \text{ V},$$

$$R_S = 800 \Omega,$$

$$R_D = 3 \text{ k}\Omega,$$

$$R_t = 8 \text{ k}\Omega,$$

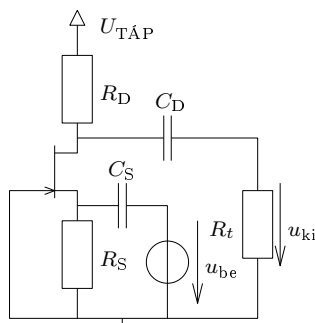
$$I_{DSS} = 11 \text{ mA},$$

$$U_p = -5 \text{ V},$$

$$r_{DG} = 35 \text{ k}\Omega,$$

$$C_D = 5 \mu\text{F},$$

$$C_S = 8 \mu\text{F}.$$



Vizsgált elrendezés

(a) Ez az áramkör melyik alapkapsolást valósítja meg?

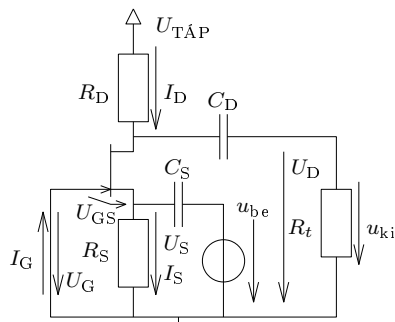
**Megoldás**

Ez egy földelt gate-ű alapkapsolás.

(b) Mekkora a kapcsolás munkaponti áramai?

**Megoldás**

A megoldáshoz használt jelöléseket az alábbi ábra mutatja.



Jelölések

A legegyszerűbb a gate-áram meghatározása

$$I_G = 0.$$

A tranzisztor drain- és source-árama megegyezik ( $I_S = I_D$ ), így a source-munkaellenállásra felírt Ohm-törvény segítségével a gate-körben a huroktörvény

$$U_{GS} = -U_S = -R_S I_S = -R_S I_D.$$

Ezt behelyettesítve karakterisztikába,

$$I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{U_{GS}}{U_p} \right)^2 = I_{DSS} \left( 1 - \frac{-R_S I_D}{U_p} \right)^2 = I_{DSS} \left( 1 + \frac{2R_S I_D}{U_p} + \frac{R_S^2 I_D^2}{U_p^2} \right),$$

innen egy másodfokú egyenletet kapunk a draináramra

$$\begin{aligned} I_{DSS} + \left( I_{DSS} \frac{2R_S}{U_p} - 1 \right) I_D + I_{DSS} \frac{R_S^2}{U_p^2} I_D^2 &= 0 \\ 0,011 + (-3,52 - 1) I_D + 281,6 \cdot I_D^2 &= 0, \end{aligned}$$

aminek a két megoldása

$$I_D = \begin{cases} 13,0602 \text{ mA}, & \text{ekkor } U_{GS} = -10,4481 \text{ V} < U_p = -5 \text{ V}, \\ 2,991 \text{ mA}, & \text{ekkor } U_{GS} = -2,3928 \text{ V} \geq U_p = -5 \text{ V}, \end{cases}$$

azaz a második megoldás adja a source-áramot (egyben a draináramot is).

- (c) Mekkora a tranzisztor egyes kivezetésein a munkaponti feszültség?

**Megoldás**

A gate-feszültség

$$U_G = 0,$$

a source-feszültség

$$U_S = -U_{GS} = 2,3928 \text{ V},$$

a drainfeszültség

$$U_D = U_{TAP} - I_D R_D = 6,0271 \text{ V}.$$

- (d) Milyen üzemmódban van a tranzisztor?

**Megoldás**

A gate-source-feszültségre igaz, hogy  $U_p < U_{GS} = -2,3928 \text{ V} < 0$ , illetve a drain-source-feszültség

$$U_{DS} = U_D - U_S = 3,6343 \text{ V} > U_{DSS} = U_{GS} - U_p = 2,6072 \text{ V},$$

azaz a tranzisztor normál (vagy telítési) üzemmódban van.

- (e) Add meg a kapcsolás be- és kimeneti ellenállását!

**Megoldás**

A kapcsolás bemeneti ellenállásához szükség van a meredekségére

$$g_m = -\frac{2I_{DSS}}{U_p} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_p}\right) = 2,2944 \text{ mS.}$$

A bemeneti ellenállás

$$R_{be} = R_S \times r_S = R_S \times \frac{1}{g_m} = 282,1382 \Omega,$$

illetve a kimeneti ellenállás

$$R_{ki} = R_D \times r_{DG} = 2,7632 \text{ k}\Omega.$$

(f) Add meg a kapcsolás üzemi és üresjárási feszültségerősítését!

### Megoldás

Az üresjárási feszültségerősítés az előadáson elhangzottak szerint (a drain-gate dinamikus ellenállást elhanyagolva  $\rightarrow \infty$ )

$$A_{\text{üres}} = g_m (R_D \times r_{DG}) = 6,3397,$$

az üzemi feszültségerősítés

$$A_{\text{üzemi}} = g_m (R_D \times r_{DG} \times R_t) = 4,7121.$$

(g) Mekkora az erősítőkapcsolás alsó határfrekvenciája?

### Megoldás

A kapcsolás alsó határfrekvenciáját a be- és kimeneti csatolókondenzátorok okozta törésponti frekvenciák közül a nagyobb adja. A bipoláris tranzisztornál tanultakkal analóg módon ezt a be- és kimenet Thévenin-helyettesítőképe alapján határozzuk meg.

A bemeneti csatolókondenzátor okozta törésponti körfrekvencia

$$\omega_S = \frac{1}{(R_{be} + R_g) C_S} = \frac{1}{R_{be} C_S} = 443,0452 \frac{\text{rad}}{\text{s}},$$

mivel ideálisnak tekintettük a bementi generátort. Így az egyik törésponti frekvencia

$$f_S = \frac{\omega_S}{2\pi} = 70,5128 \text{ Hz.}$$

A kimeneti csatolókondenzátor okozta törésponti körfrekvencia

$$\omega_D = \frac{1}{(R_{ki} + R_t) C_D} = 18,5819 \frac{\text{rad}}{\text{s}},$$

ahonnan a másik törésponti frekvencia

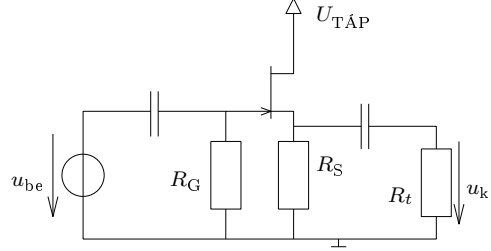
$$f_D = \frac{\omega_D}{2\pi} = 2,8937 \text{ Hz} < f_S,$$

azaz a kapcsolás alsó határfrekvenciáját a bemeneti csatolókondenzátor által behozott pólus adja és ez

$$f_a = f_S = 70,5128 \text{ Hz.}$$

4. Vizsgáljuk az alábbi ábrán látható source-követő kapcsolást, a következő paraméterek mellett

$$\begin{aligned} U_{TAP} &= 9 \text{ V}, & R_G &= 1,2 \text{ M}\Omega, \\ R_t &= 3 \text{ k}\Omega, & U_p &= -4 \text{ V}, \\ I_{DSS} &= 8 \text{ mA}. \end{aligned}$$



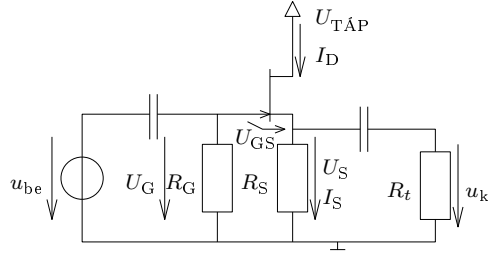
Vizsgált elrendezés

(a) Mekkora ellenállást kell választani a  $I_S = 2 \text{ mA}$ -es munkaponti source-áram beállításához?

### Megoldás

A következőkben két megoldási javaslatot is adunk, az első esetben egyből megoldható a feladat, de a kapott másodfokú egyenlet megoldásai közül ki kell választani a megfelelőt, míg a második esetben két lépésben, de másodfokú egyenlet megoldása nélkül kapjuk a keresett ellenállást.

**Első megoldás** A megoldáshoz használt jelöléseket az alábbi ábra mutatja.



Jelölések

A source-munkaellenállásra felírt Ohm-törvény segítségével a gate-körben a huroktörvény

$$U_{GS} = -U_S = -R_S I_S.$$

Ezt behelyettesítve karakterisztikába,

$$I_S = I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{U_{GS}}{U_p} \right)^2 = I_{DSS} \left( 1 - \frac{-R_S I_S}{U_p} \right)^2 = I_{DSS} \left( 1 + \frac{2R_S I_S}{U_p} + \frac{R_S^2 I_S^2}{U_p^2} \right),$$

innen egy másodfokú egyenletet kapunk a source-munkaellenállásra

$$\begin{aligned} I_{DSS} - I_S + I_{DSS} \frac{2I_S}{U_p} R_S + I_{DSS} \frac{I_S^2}{U_p^2} R_S^2 &= 0 \\ 0,006 - 8 \cdot 10^{-6} \cdot R_S + 2 \cdot 10^{-9} \cdot R_S^2 &= 0, \end{aligned}$$

aminek a két megoldása

$$R_S = \begin{cases} 1 \text{ k}\Omega, & \text{ekkor } U_{GS} = -2 \text{ V} \geq U_p = -4 \text{ V}, \\ 3 \text{ k}\Omega, & \text{ekkor } U_{GS} = -6 \text{ V} < U_p = -4 \text{ V}, \end{cases}$$

azaz az első megoldás adja a megfelelő source-munkaellenállást.

**Alternatív megoldás** A keresett ellenállás értékét két lépésben is meghatározhatjuk, ami nem vezet másodfokú egyenlethez.

Először kifejezzük a gate–source-feszültséget a megadott adatokkal

$$U_{GS} = U_p \left( 1 - \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}} \right) = -2 \text{ V},$$

majd ezt felhasználva a gate–körre felírt Kirchhoff-feszültségtörvényből kifejezzük a source-feszültséget

$$U_S = -U_{GS} = 2 \text{ V},$$

végül a source-munkaellenállásra felírt Ohm-törvény

$$R_S = \frac{U_S}{I_S} = 1 \text{ k}\Omega.$$

- (b) Add meg a tranzisztor kivezetéseinek a munkaponti feszültségeit!

**Megoldás**

A drain a tápra van téve, azaz

$$U_D = U_{TAP} = 9 \text{ V},$$

a gate földön van (mivel nem folyik gate-áram)

$$U_G = 0$$

és végül az source-munkaellenállásra az Ohm-törvény

$$U_S = R_S I_S = 2 \text{ V}.$$

- (c) Milyen üzemmódban van a tranzisztor?

**Megoldás**

A gate–source-feszültség

$$U_{GS} = -U_S = -2 \text{ V},$$

amire teljesül, hogy  $U_p \leq U_{GS} \leq 0$ , illetve a drain–source-feszültség

$$U_{DS} = U_D - U_S = 7 \text{ V} > U_{DSS} = U_{GS} - U_p = 2 \text{ V},$$

azaz a tranzisztor normál üzemmódban van.

- (d) Mekkora a kapcsolás ki- és bemeneti ellenállása?

**Megoldás**

A bemeneti ellenállás

$$R_{be} = R_G = 1,2 \text{ M}\Omega,$$

a kimeneti ellenállás

$$R_{ki} = R_S \times r_S = R_S \times \frac{1}{g_m} = 333,3333 \Omega,$$



ahol felhasználtuk, hogy a tranzisztor (munkaponti) meredeksége

$$g_m = -\frac{2I_{DSS}}{U_p} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_p}\right) = 2 \text{ mS}.$$

(e) Mekkora a kapcsolás feszültségerősítése?

**Megoldás**

Mivel a feladat nem jelzi külön, az üzemi feszültségerősítést adjuk meg, hiszen a kapcsolás tartalmazza a terhelést is

$$A_{\text{üzemi}} = \frac{g_m (R_S \times R_t)}{1 + g_m (R_S \times R_t)} = 0,6.$$