

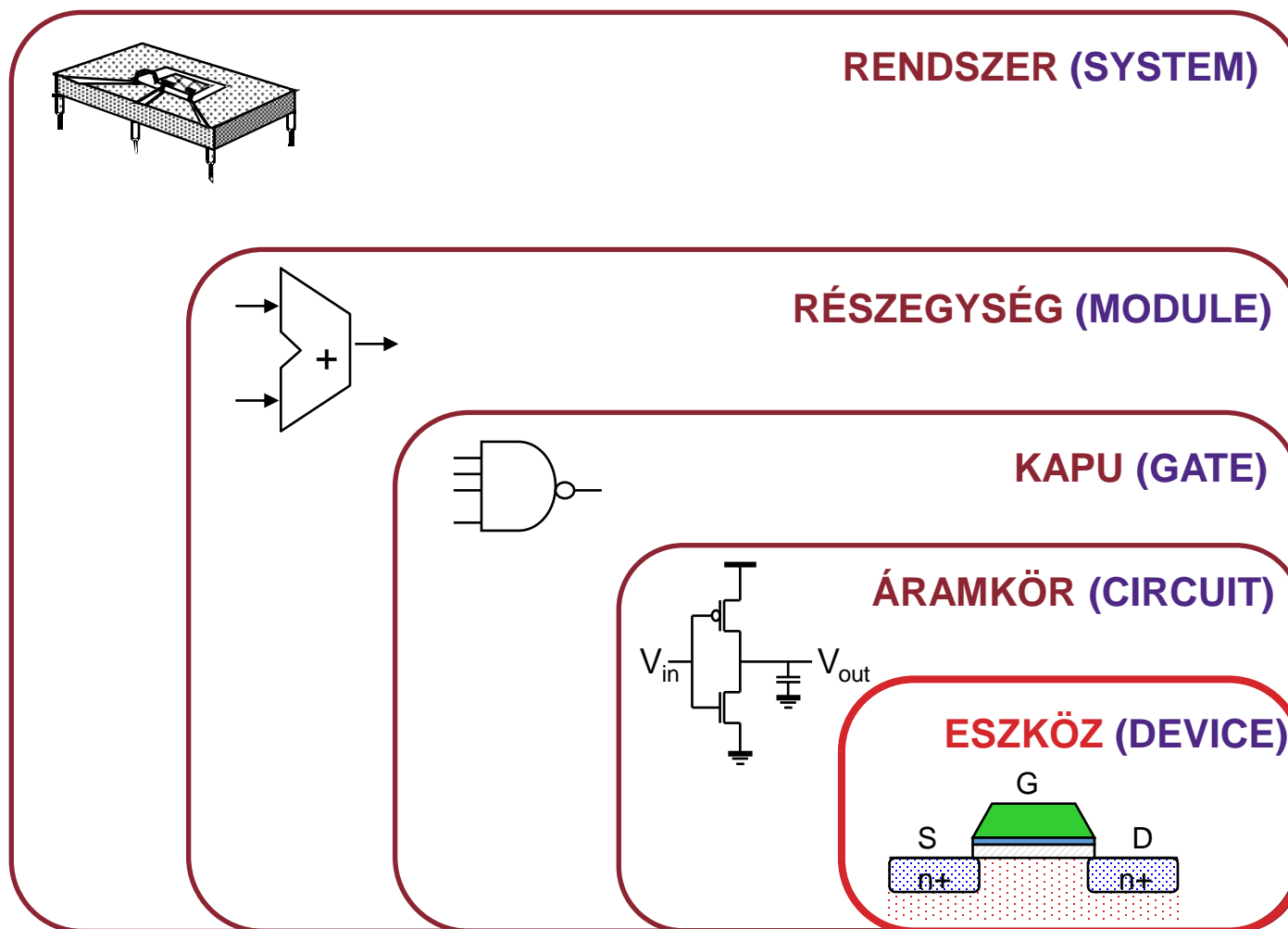
MIKROELEKTRONIKA, VIEEAB00

Térvezérelt tranzisztorok I.

A JFET eszközök

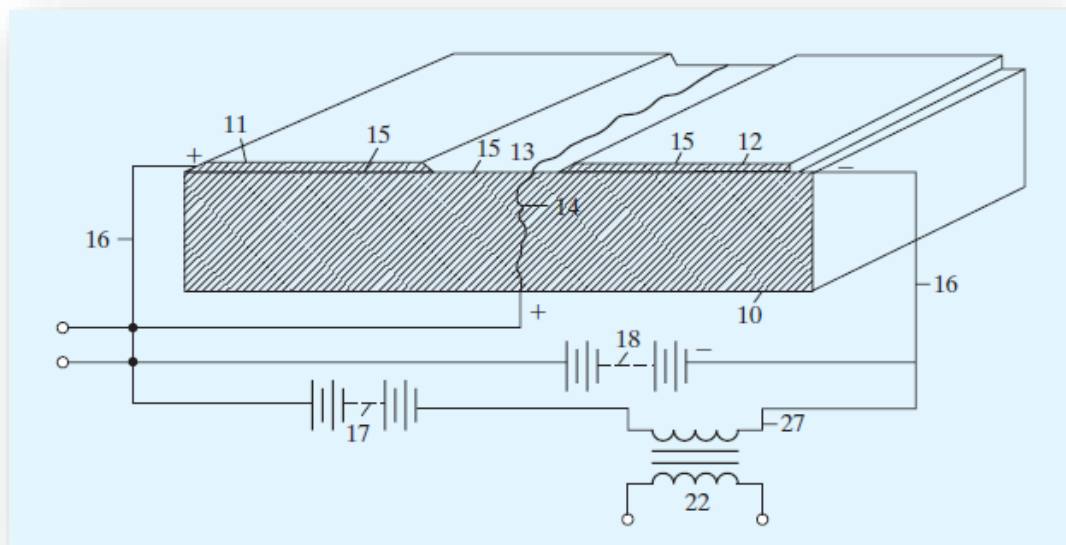
JFET tranzisztorok

Vizsgált absztrakciós szint



1925 - Első FET eszközök...

- 1925 - Julius Edgar Lilienfeld szabalmái
 - Üveghordozón (10), félvezető réteg (réz-szulfid 15) és alumínium fólia (14, az alufólia éle maga a gate 13), source/drain kontaktus (11/12)

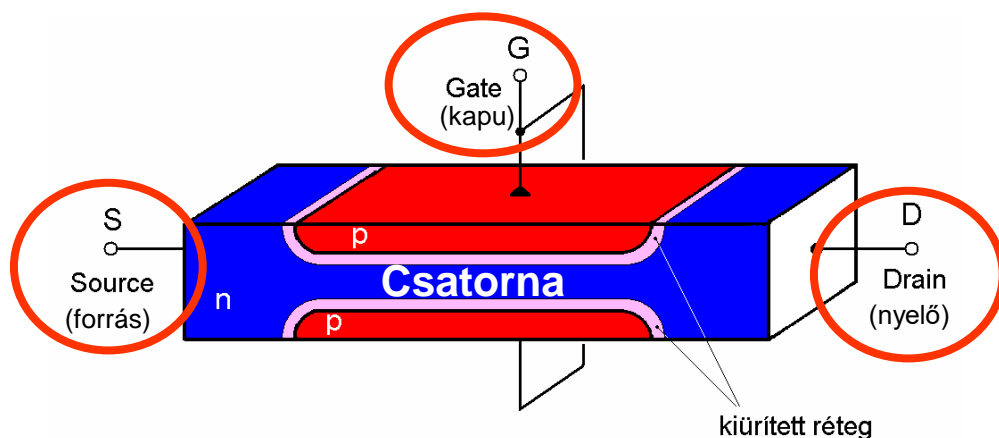


[1925 US1900018 \(A\) - Device for controlling electric current](#)

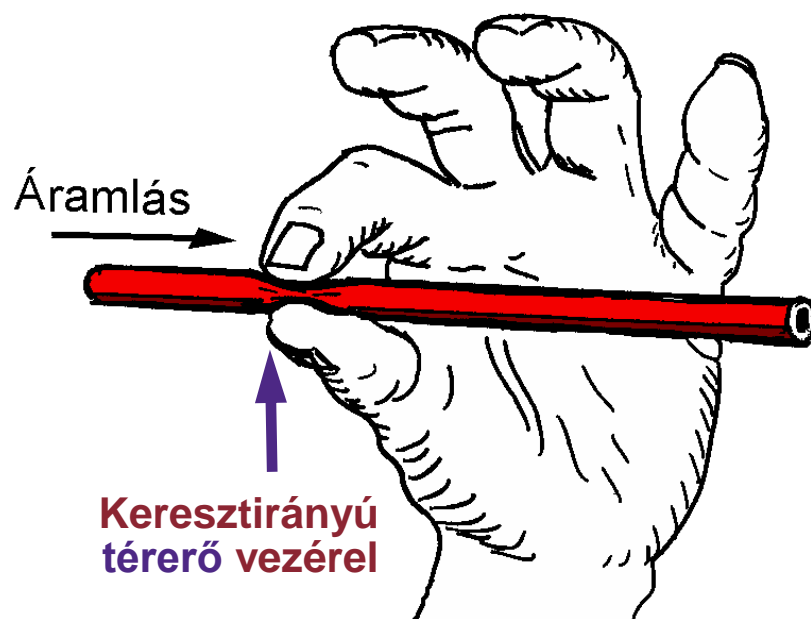
[1930 US1745175 \(A\) - Method and apparatus for controlling electric currents](#)

A JFET

- FET = **F**ield **E**ffect **T**ransistor - a töltéshordozók áramlását elektromos térerősséggel befolyásoljuk

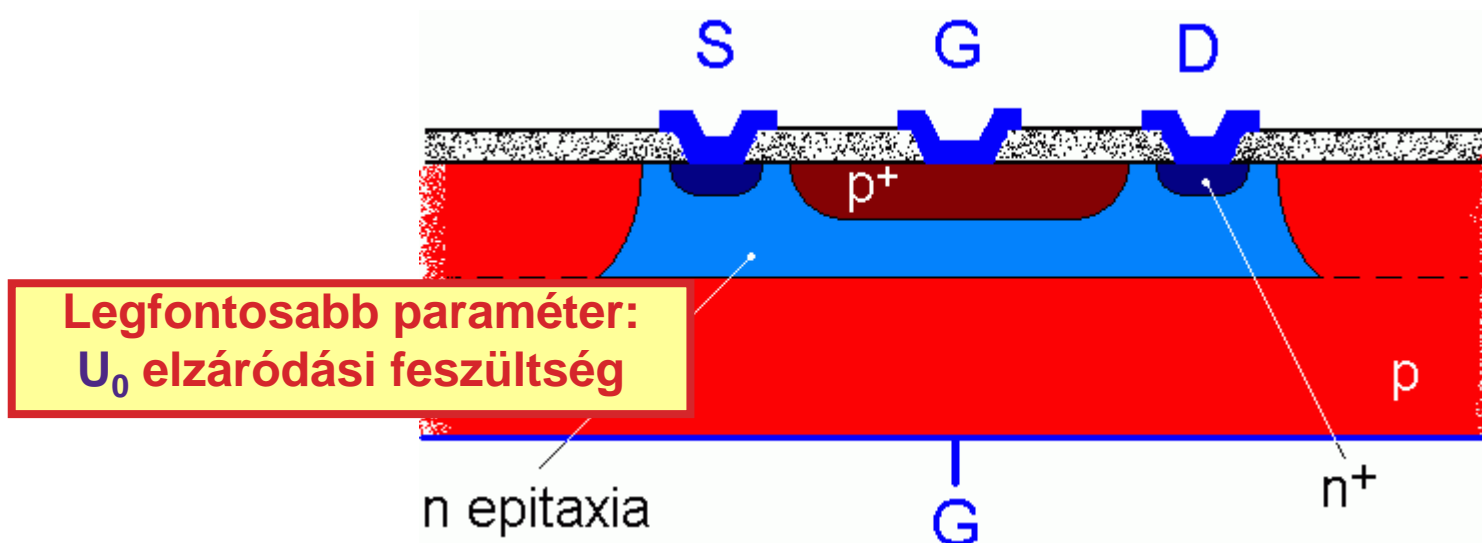


JUNCTION FET: pn-átmenet kiürített rétege zárja el a csatornát

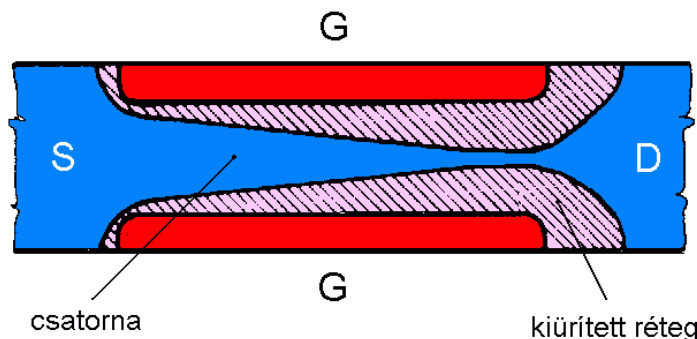


- ▶ **Unipoláris eszköz:** többségi töltéshordozók vezetnek
- ▶ Vezérlő teljesítmény ≈ 0
- ▶ **Normally on device:** ha nem csinállok vele semmit, vezet

A JFET – egy lehetséges kivitel:



Lezárt PN átmenet kiürített rétegének a vastagsága szabályozza a csatorna vezetőképességét



PN átmenet = PN junction \Rightarrow junction FET

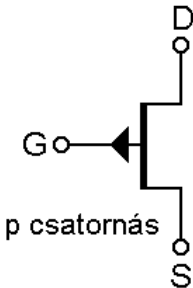
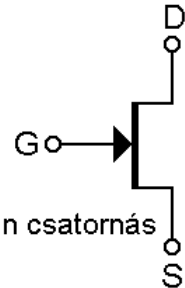
PN átmenet = Sperrschicht

Sperrschicht = záróréteg

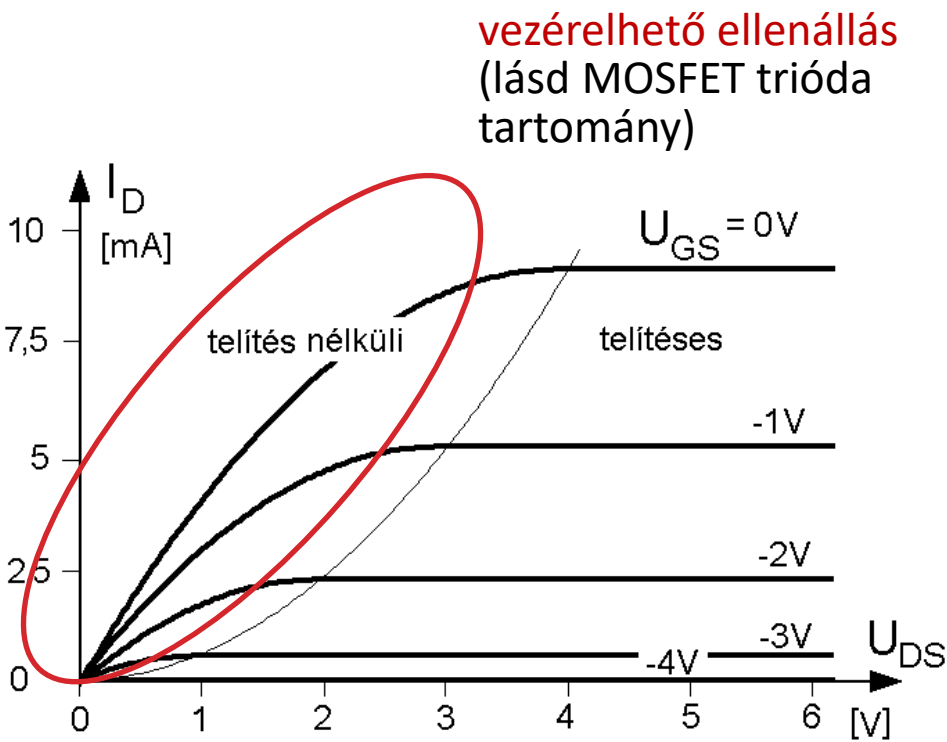
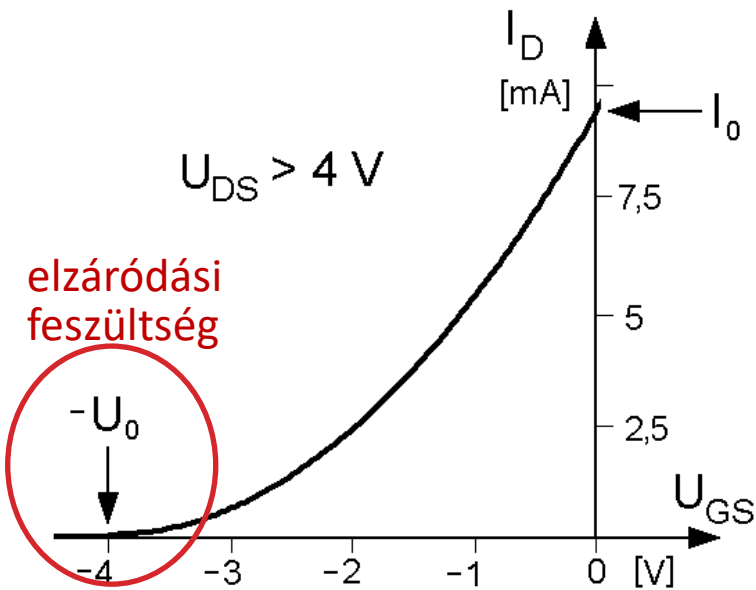
\Rightarrow **záróréteges FET**

A JFET

- Jelölések:

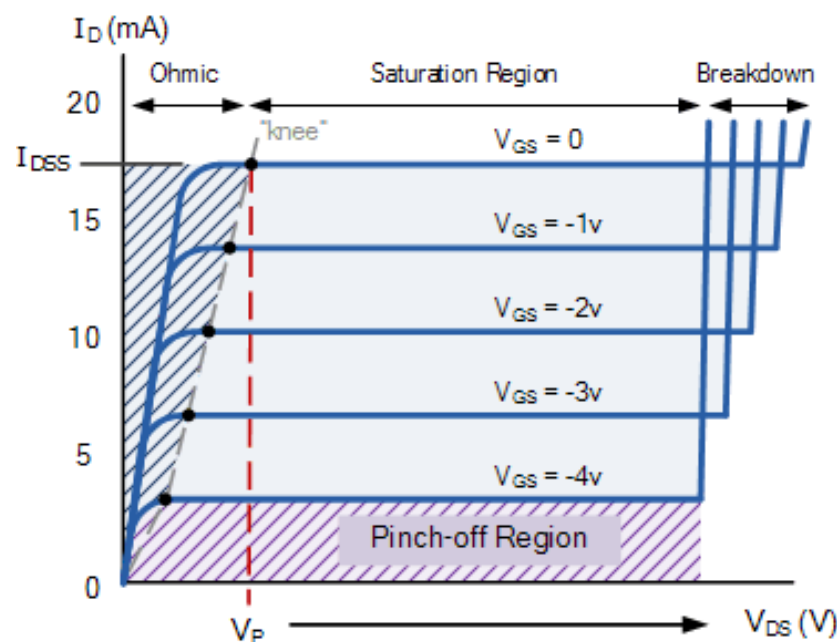


- Karakterisztikák (n-JFET):

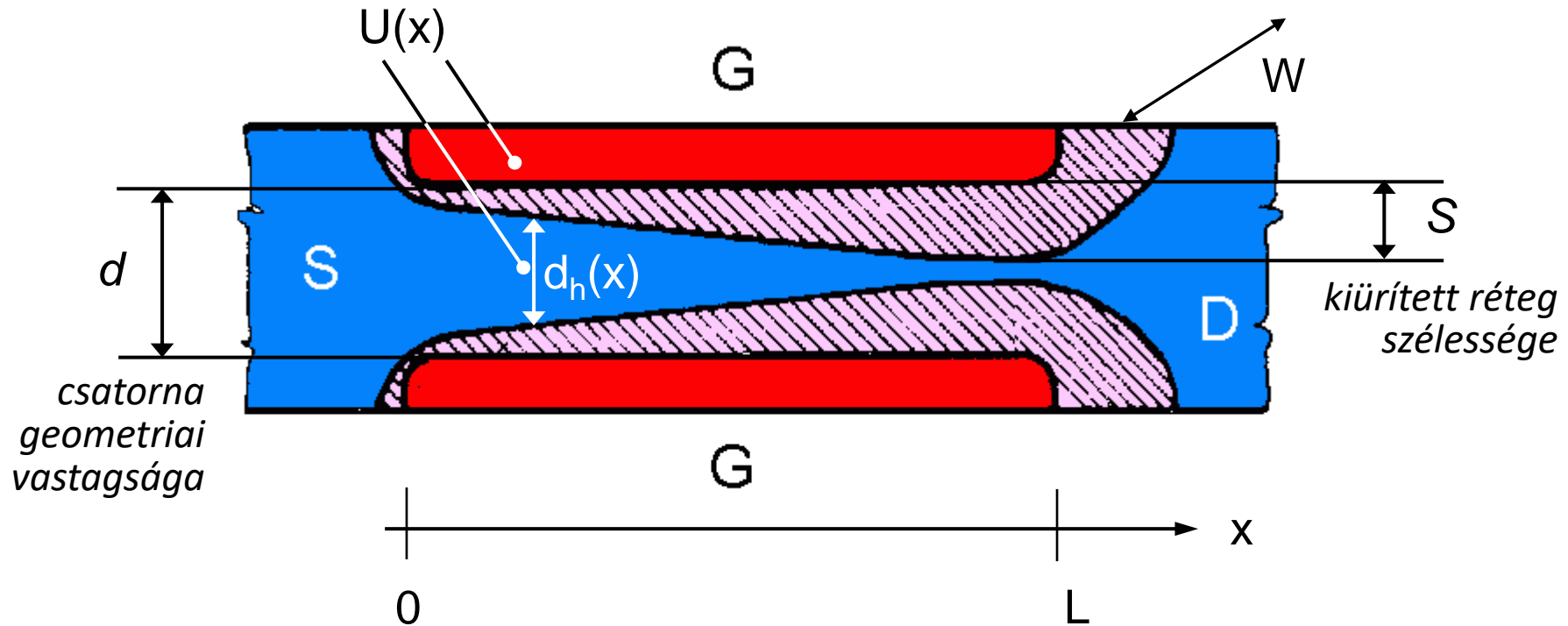


JFET működési tartományai

- **Elzáródásos** (cut-off/pinch-off) tartomány – a csatorna ellenállás maximális, szakadásként viselkedik
- **Lineáris** (Ohmic) tartomány – $V_{GS} = 0$ esetén $d_h \approx d$, JFET tr. feszültség vezérelt ellenállásként viselkedik
- **Telítéses** (Saturation/Active) tartomány – I_D áram V_{GS} értéktől függ (V_{DS} -nek „nincs” hatása)
- **Letörési** (Breakdown) szakasz – Záróirányban lévő PN átmenetek letörési jelenség, tranzisztor túlmelegedését, tönkremenetelét okozza



Az elzáródási feszültség számítása



Elzáródás: d geometriai vastagság = 2 x kiürített réteg vastagsága

$$d = 2\sqrt{\frac{2\varepsilon}{qN_d}}\sqrt{U_D - U} = 2\sqrt{\frac{2\varepsilon}{qN_d}}\sqrt{U_D + |U_0|}$$

$$U_0 = \frac{qN_d}{8\epsilon} d^2$$

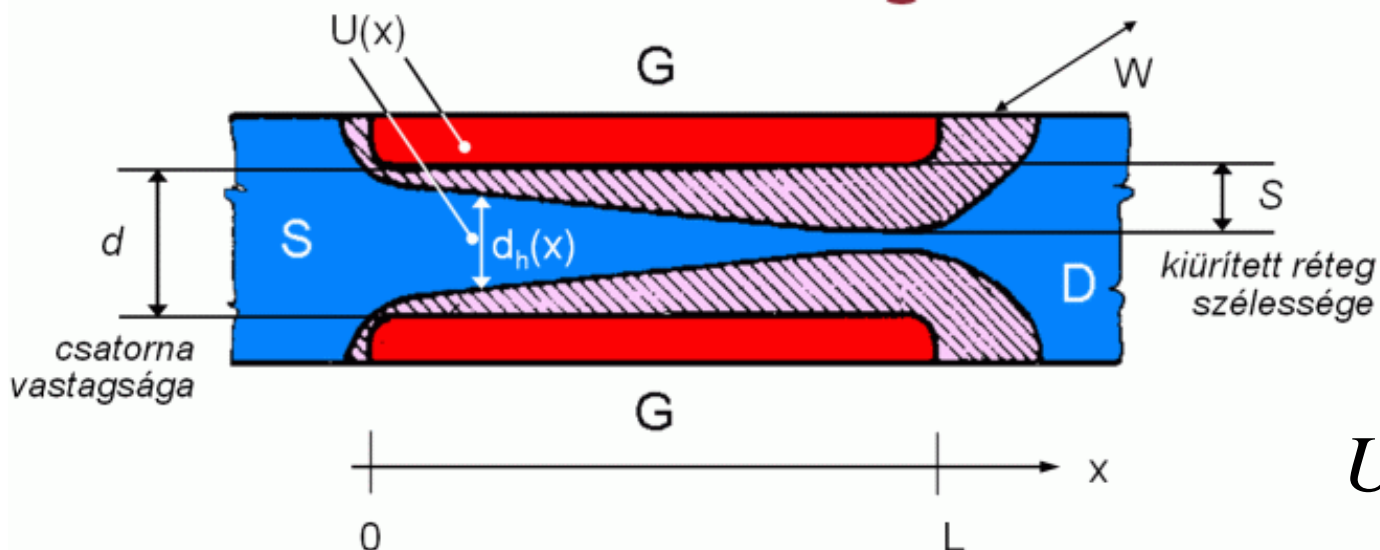
PÉLDA

Határozzuk meg egy Si JFET elzáródási feszültségét, ha a csatorna vastagsága $d = 4 \mu\text{m}$ és adalékolása $N_d = 10^{15}/\text{cm}^3$!

$$U_0 = \frac{qN_d}{8\varepsilon} d^2$$

$$U_0 = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{21}}{8 \cdot 11,8 \cdot 8,86 \cdot 10^{-12}} (4 \cdot 10^{-6})^2 = 3,06 \text{ V}$$

A karakterisztika egyenlete



$$U(x) = ?$$

$$U(x=0) = U_{GS}$$

$$U(x=L) = U_{GD}$$

$$d_h(x) = d - 2\sqrt{\frac{2\varepsilon}{qN_d}}\sqrt{-U(x)}$$

$$U_0 = \frac{qN_d}{8\varepsilon}d^2$$

$$d_h = d \left(1 - \left(\frac{-U}{U_0} \right)^{1/2} \right)$$

Mikroelektronika BMEVIEEAB00





12

$$\int_0^L I_D dx = -W\sigma \int_0^L d_h \frac{dU}{dx} dx$$

$$I_D = -\frac{W}{L} \sigma \int_{U_{GS}}^{U_{GD}} d_h dU$$

A karakterisztika egyenlete

$$d_h = d \left(1 - \left(\frac{-U}{U_0} \right)^{1/2} \right) \quad \Rightarrow \quad I_D = -\frac{W}{L} \sigma \int_{U_{GS}}^{U_{GD}} d_h dU$$

$$I_D = -\frac{W}{L} \sigma d \int_{U_{GS}}^{U_{GD}} \left(1 - \left(\frac{-U}{U_0} \right)^{1/2} \right) dU$$

$$= -\frac{W}{L} \sigma d \left| U + \frac{2}{3} U_0 \left(\frac{-U}{U_0} \right)^{3/2} \right|_{U_{GS}}^{U_{GD}}$$

Csatornavezetés

$$G_0 = \sigma \frac{Wd}{L}$$



$$I_D = G_0 \left| U + \frac{2}{3} U_0 \left(\frac{-U}{U_0} \right)^{3/2} \right|_{U_{GD}}^{U_{GS}}$$

A karakterisztika egyenlete

$$I_D = G_0 \left| U + \frac{2}{3} U_0 \left(\frac{-U}{U_0} \right)^{3/2} \right|_{U_{GD}}^{U_{GS}} = \frac{G_0 U_0}{3} \left| 3 \frac{U}{U_0} + 2 \left(\frac{-U}{U_0} \right)^{3/2} \right|_{U_{GD}}^{U_{GS}}$$

$$I_0 = \frac{G_0 U_0}{3}$$

Áramállandó



$$I_D = I_0 \left| 3 \frac{U}{U_0} + 2 \left(\frac{-U}{U_0} \right)^{3/2} \right|_{U_{GD}}^{U_{GS}}$$



$$I_D = I_0 [F(U_{GS}) - F(U_{GD})]$$

$$F(U) = 3 \frac{U}{U_0} + 2 \left(\frac{-U}{U_0} \right)^{3/2}$$

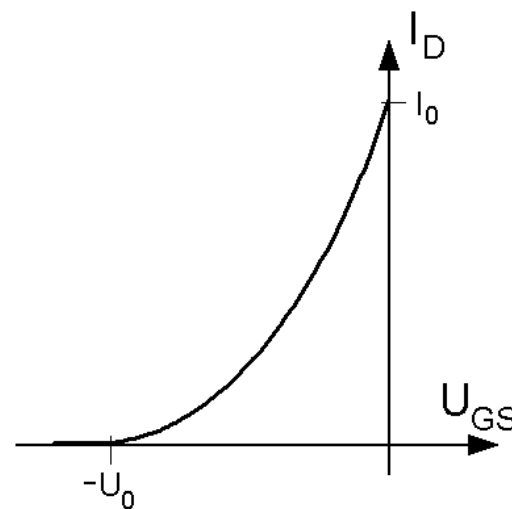
A karakterisztika egyenlete

$$I_D = I_0 [F(U_{GS}) - F(U_{GD})] \quad \text{A teljes tartományra!}$$

$$F(U) = \begin{cases} 3 \frac{U}{U_0} + 2 \left(\frac{-U}{U_0} \right)^{3/2} & \text{ha } U \geq -U_0 \\ -1 & \text{ha } U < -U_0 \end{cases}$$

Csak telítésben:

$$I_D = I_0 \left(3 \frac{U_{GS}}{U_0} + 2 \left(\frac{-U_{GS}}{U_0} \right)^{3/2} + 1 \right)$$



A karakterisztika egyenlete

▪ Iparban, széleskörűen elfogadott összefüggés

- Taylor-sor első tagja $V_{GS} = V_P$ körül

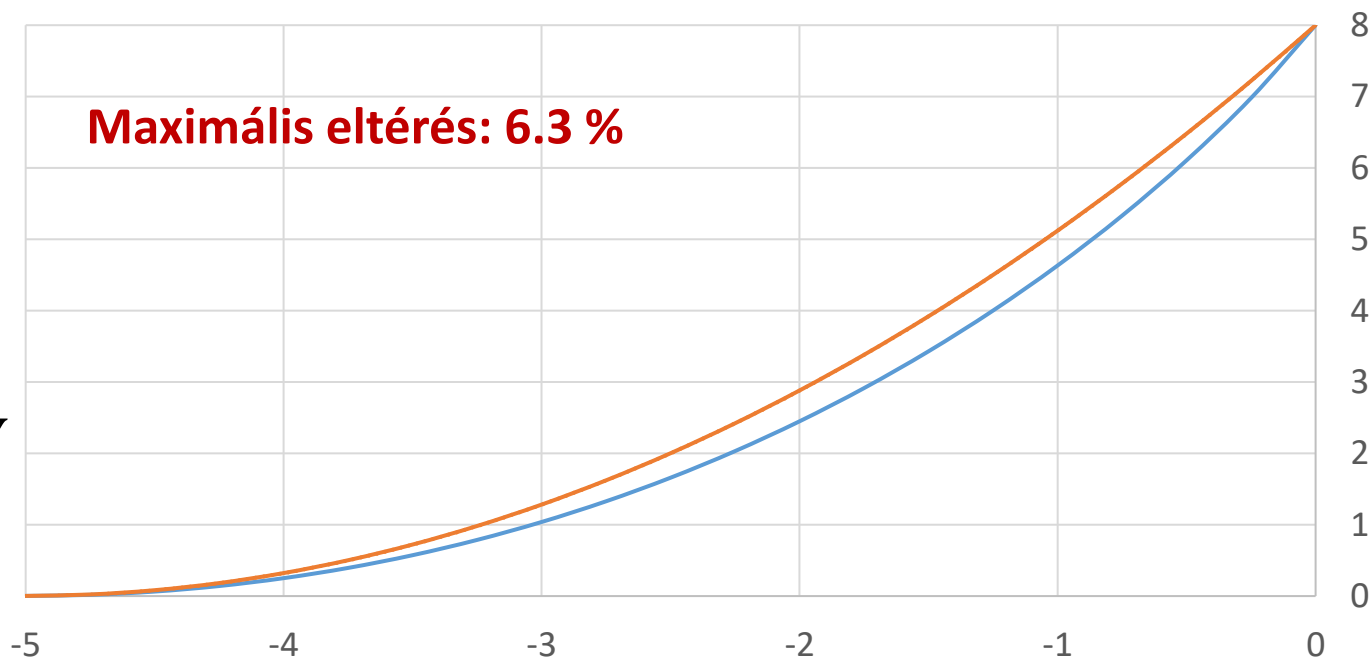
$$I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \quad \text{vs.} \quad I_D = I_0 \left(3 \frac{U_{GS}}{U_0} + 2 \left(\frac{-U_{GS}}{U_0}\right)^{3/2} + 1\right)$$

I_d [mA] – U_{GS} [V] transfer function

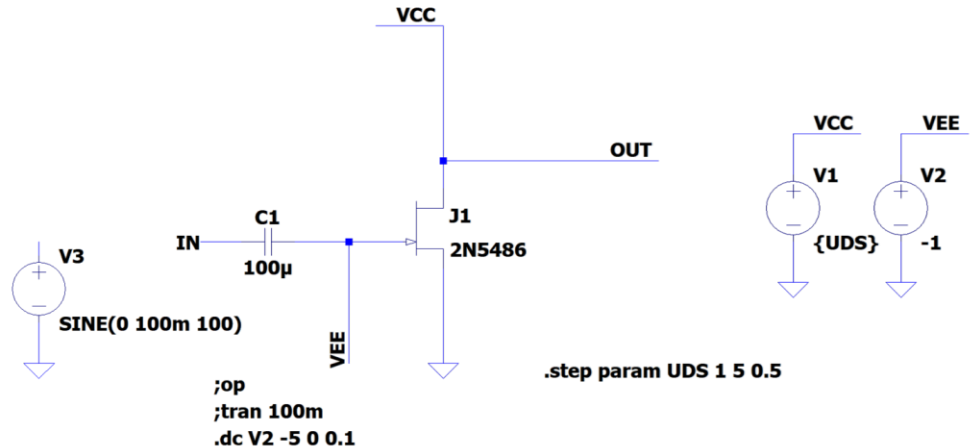
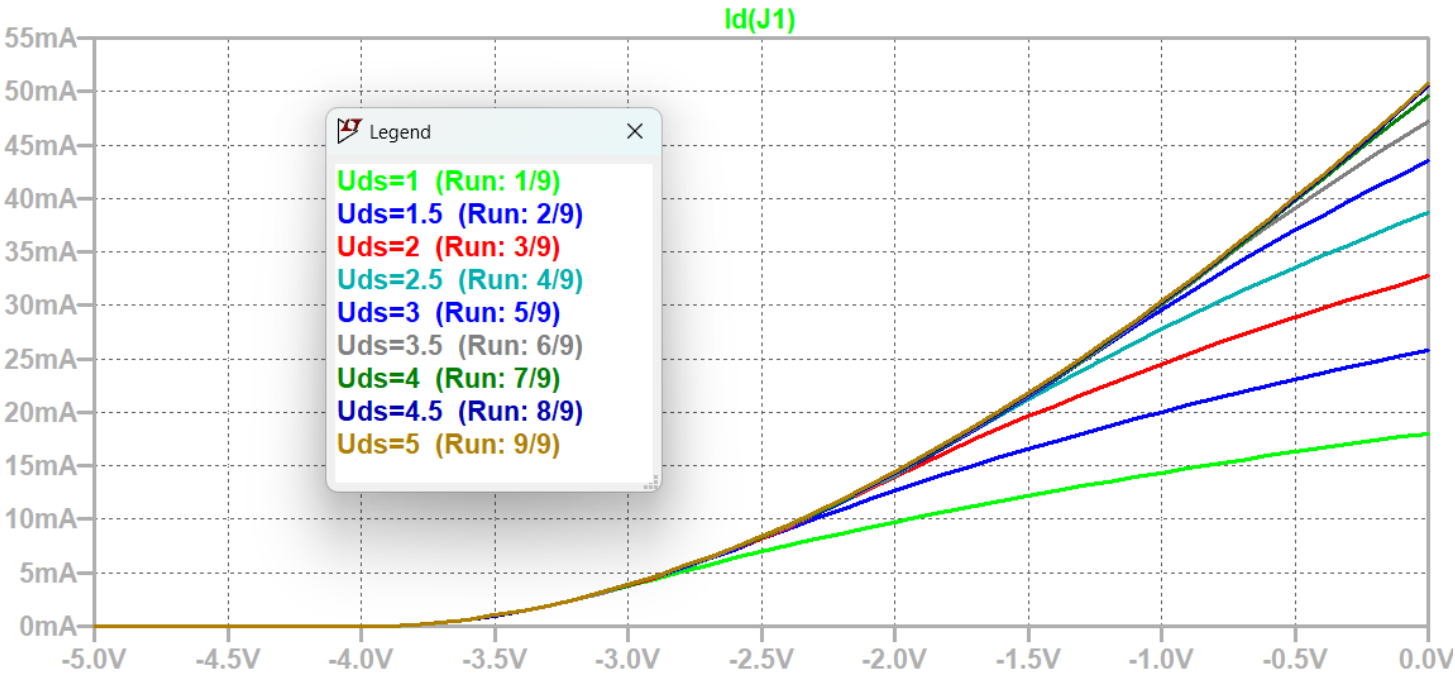
$$V_0 = -5 \text{ V}$$

$$I_0 = 8 \text{ mA}$$

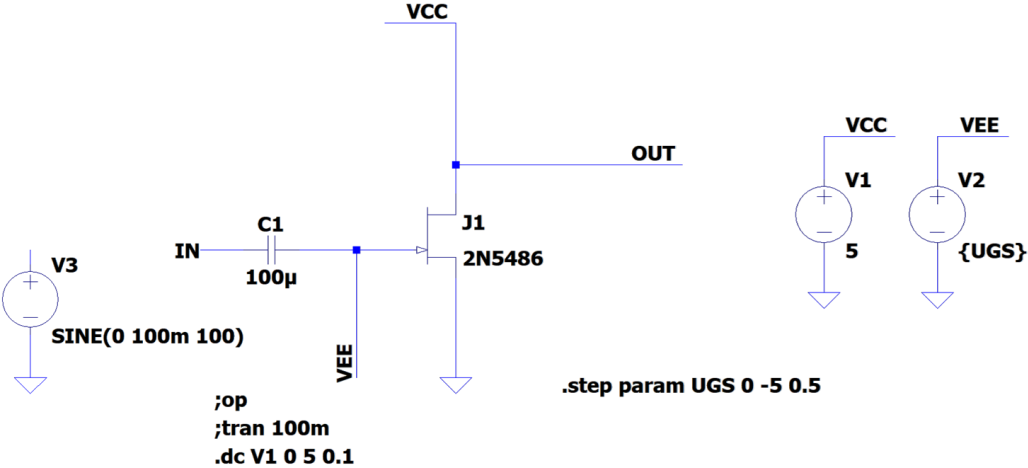
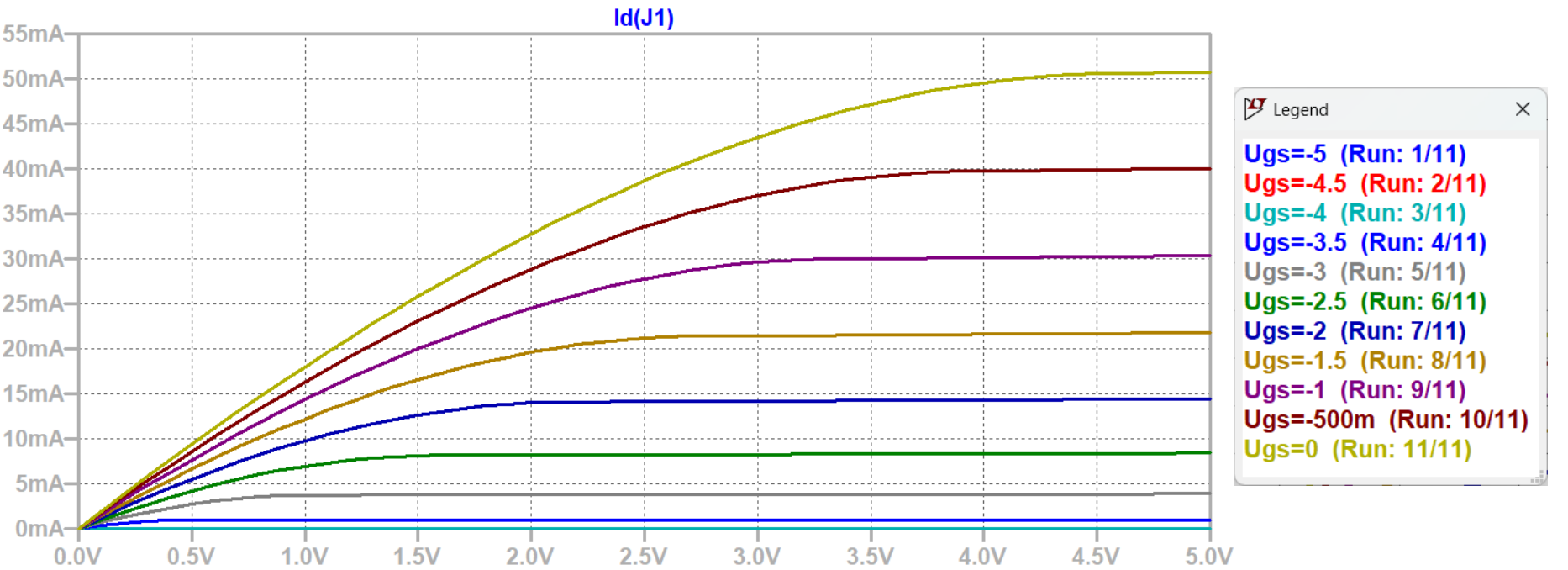
$$V_P = |V_0| = 5 \text{ V}$$



Transzfer karakterisztika



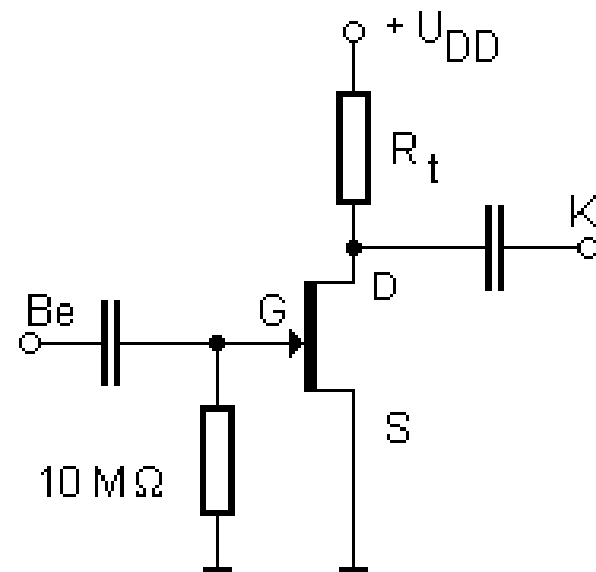
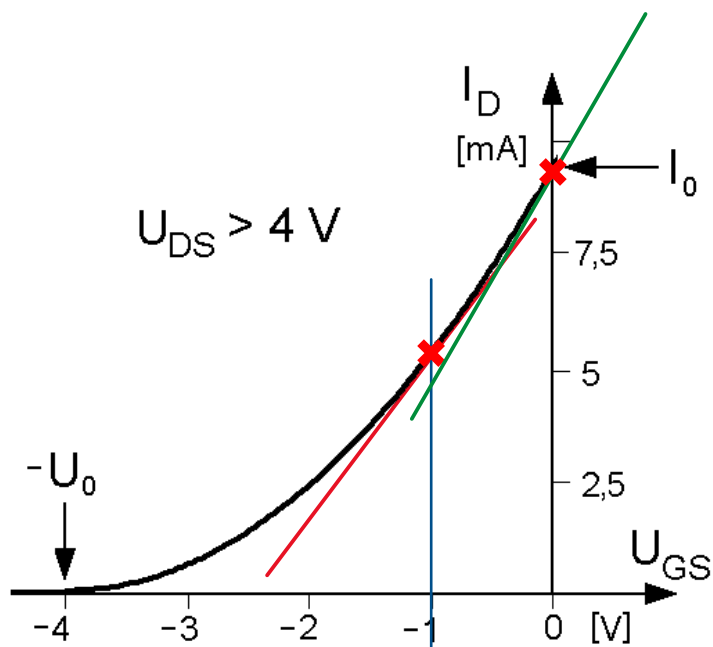
Kimeneti karakterisztika



Kisjelű paraméterek, helyettesítőkép

Merekség

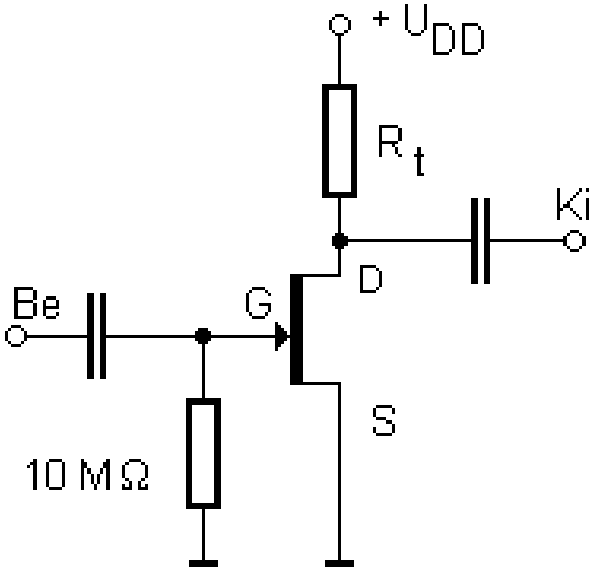
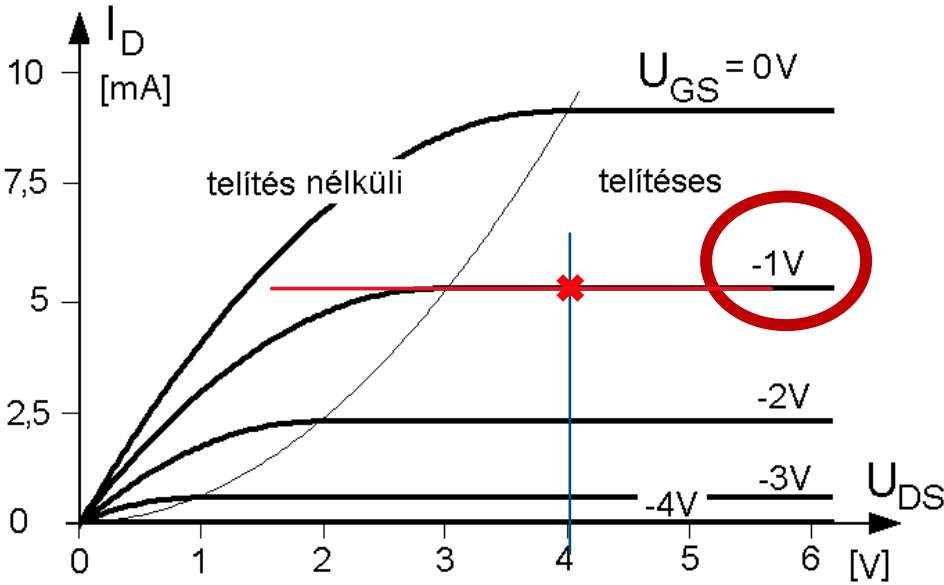
$$g_m = \left. \frac{dI_D}{dU_{GS}} \right|_{U_{DS}=\text{áll}}$$



Kisjelű paraméterek, helyettesítőkép

Kimeneti vezetés

$$g_0 = \left. \frac{dI_D}{dU_{DS}} \right|_{U_{GS}=\text{áll}}$$



Kisjelű paraméterek, helyettesítőkép

Merekség

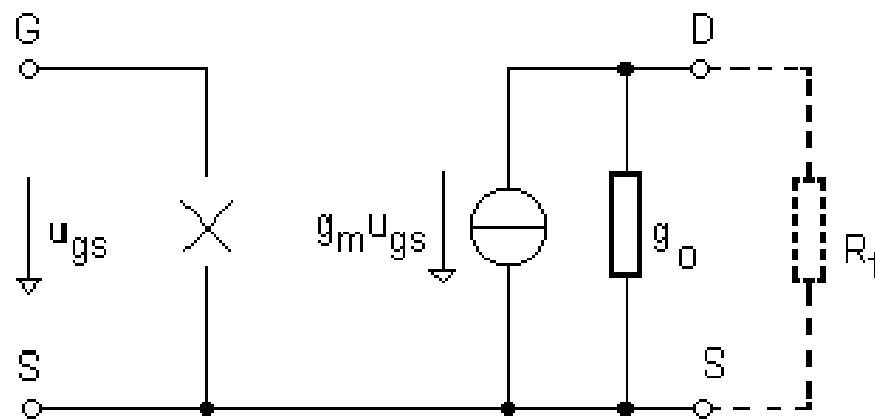
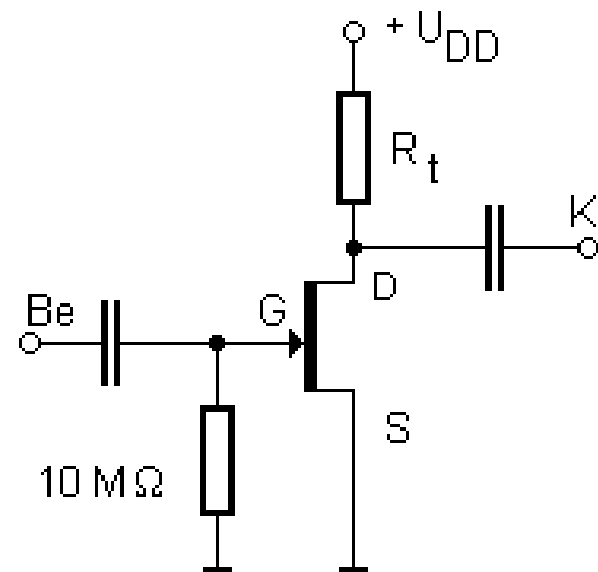
$$g_m = \left. \frac{dI_D}{dU_{GS}} \right|_{U_{DS}=\text{áll}}$$

Kimeneti vezetés

$$g_0 = \left. \frac{dI_D}{dU_{DS}} \right|_{U_{GS}=\text{áll}}$$

Feszültség erősítés

$$A_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = -g_m \left(R_t \times \frac{1}{g_0} \right)$$



Kisjelű paraméterek, helyettesítőkép

Merekség számítása

$$g_m = \left. \frac{dI_D}{dU_{GS}} \right|_{U_{DS}=\text{áll}}$$

$$g_m = \frac{d I_0 \left(3 \frac{U_{GS}}{U_0} + 2 \left(\frac{-U_{GS}}{U_0} \right)^{3/2} + 1 \right)}{dU_{GS}}$$

$$g_m = I_0 \left(\frac{3}{U_0} - 2 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{U_0} \left(\frac{-U_{GS}}{U_0} \right)^{1/2} \right)$$

$$G_0 = 3 \cdot \frac{I_0}{U_0}$$

$$g_m = G_0 \left(1 - \left(\frac{-U_{GS}}{U_0} \right)^{1/2} \right)$$

Példa:

$$U_{GS} = 0V, U_0 = 4V, I_0 = 8mA \rightarrow g_m = 6 \text{ mS}$$

$$U_{GS} = -1V, U_0 = 4V, I_0 = 5mA \rightarrow g_m = 1.9 \text{ mS}$$

Kisjelű paraméterek, helyettesítőkép

- Transzkonduktancia (meredekség) értéke

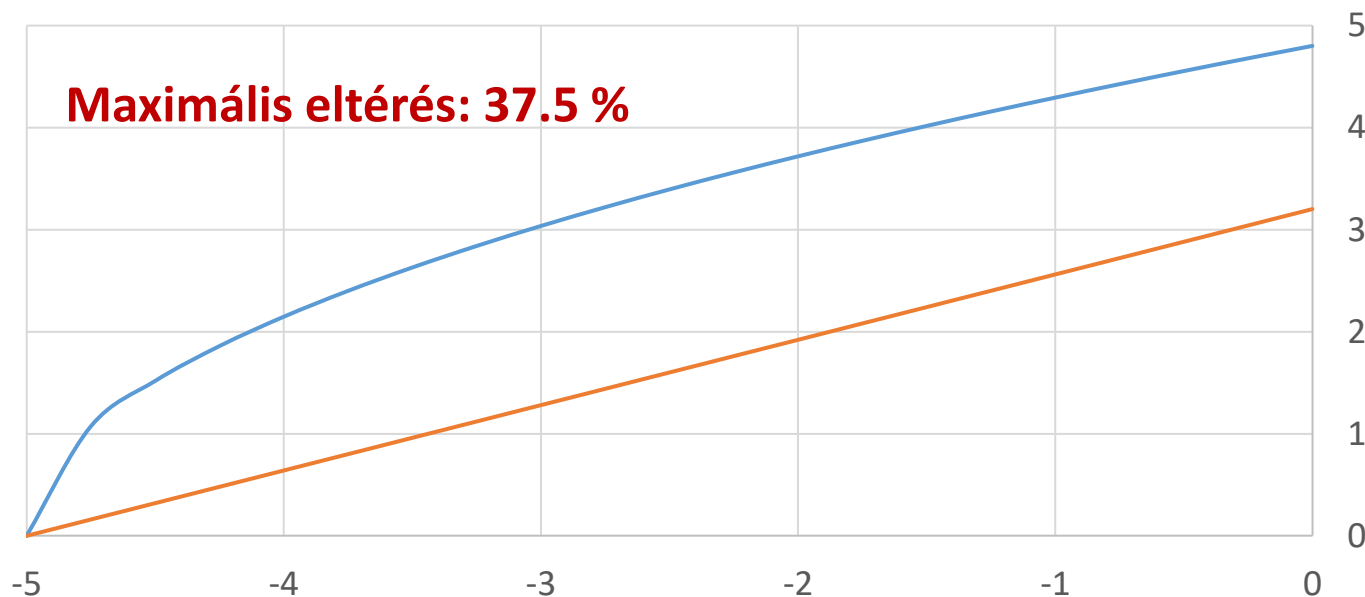
$$g_m = \frac{2 \cdot I_{DSS}}{V_p} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right) \quad \text{vs.} \quad g_m = G_0 \left(1 - \left(\frac{-U_{GS}}{U_0}\right)^{1/2}\right)$$

$g_m[\text{mS}]$ - U_{GS} transconductance function

$$V_0 = -5 \text{ V}$$

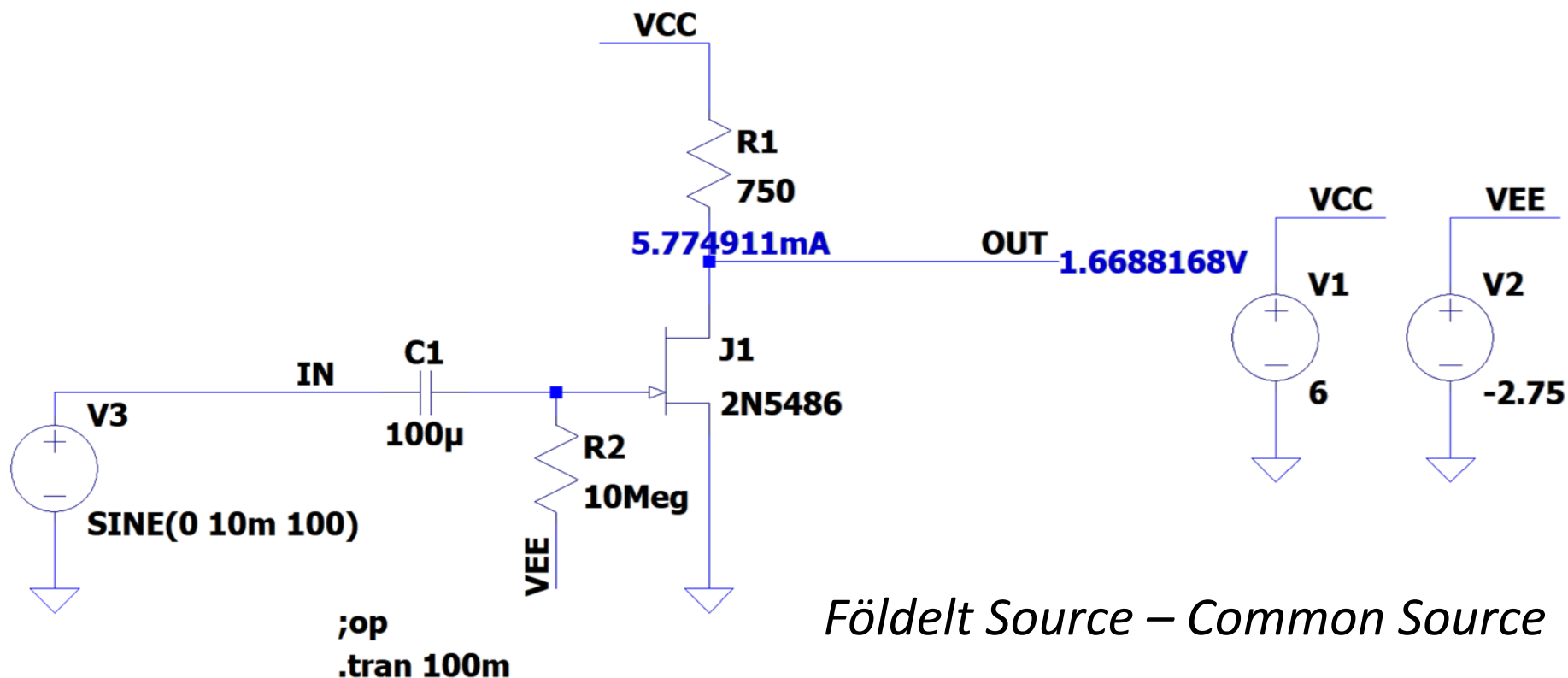
$$I_0 = 8 \text{ mA}$$

$$V_P = |V_0| = 5 \text{ V}$$

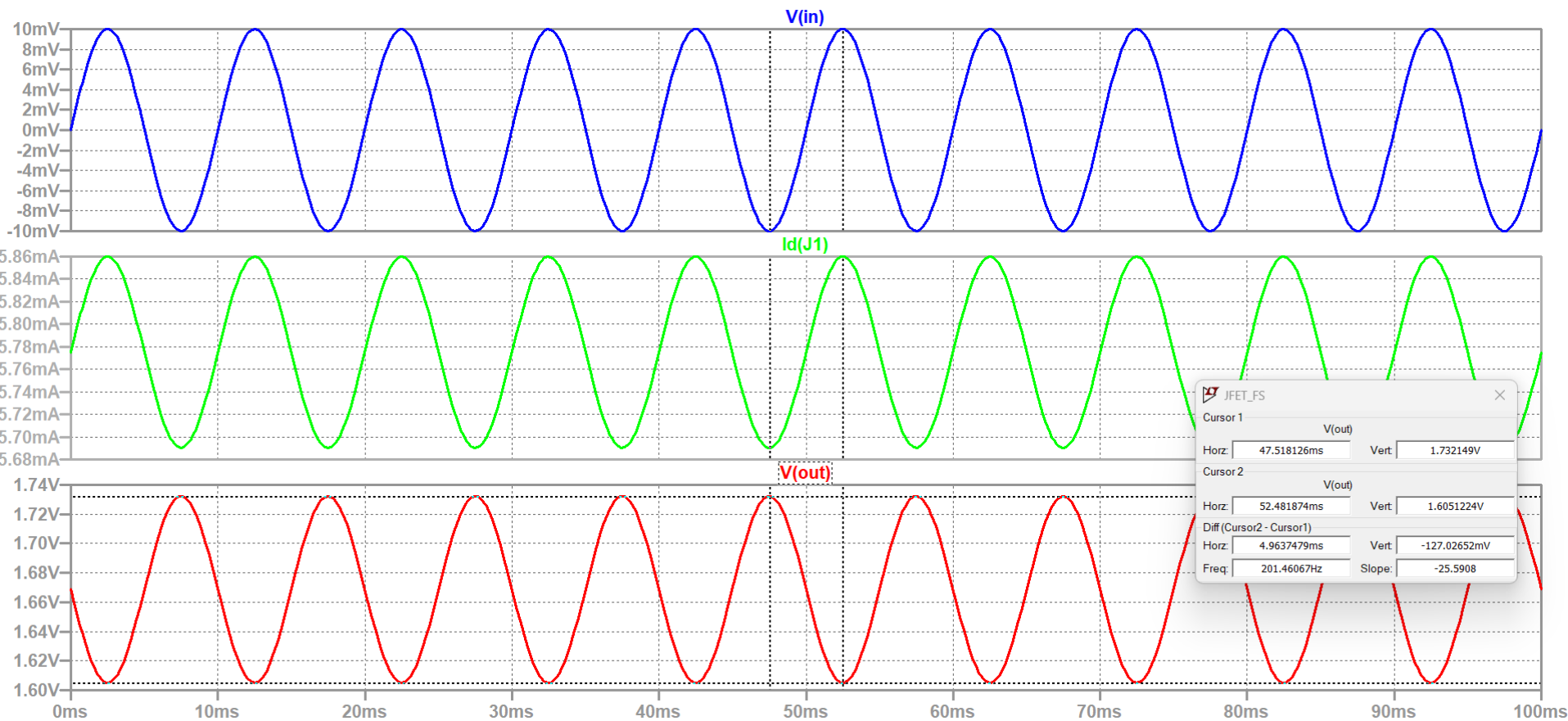


JFET FS erősítő alkapcsolás

1. *beállítjuk a munkapontot,*
2. *meghatározzuk g_m -t,*
3. *terhelő ellenállást méretezzük,*
4. *meghatározzuk A_U -t*



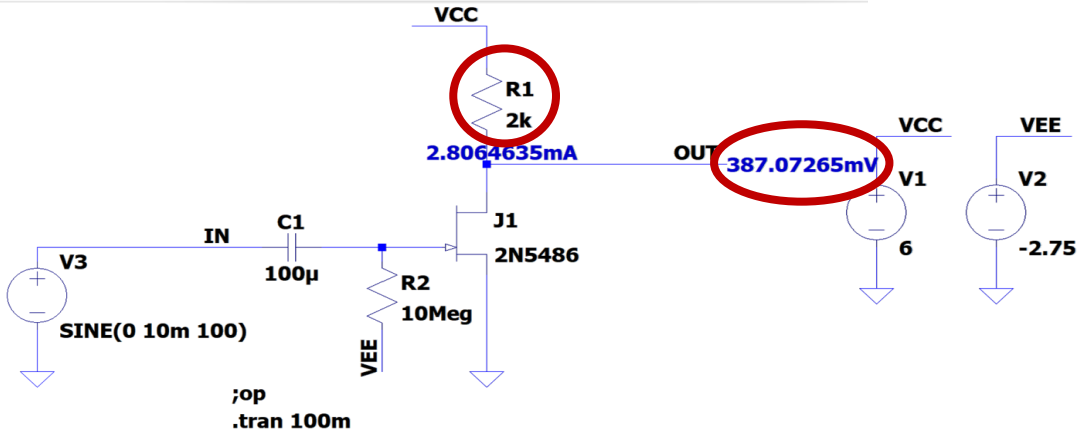
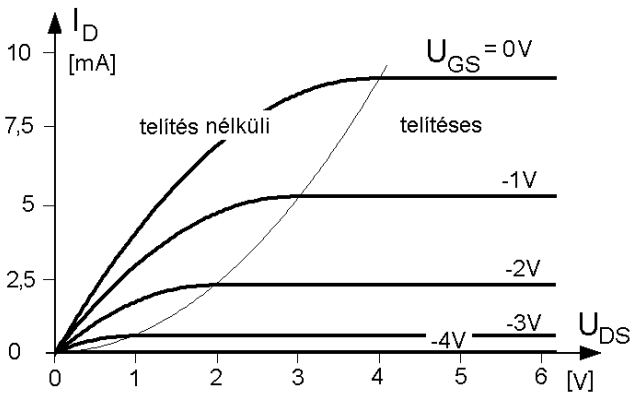
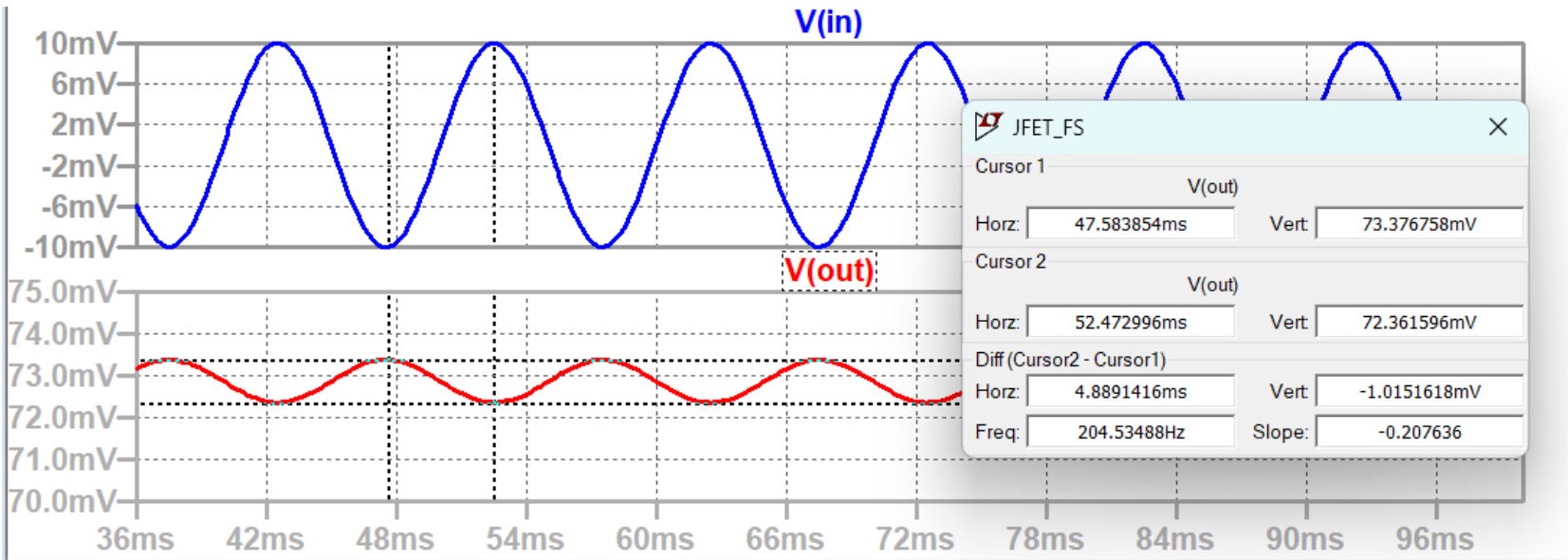
JFET FS erősítő alkapcsolás



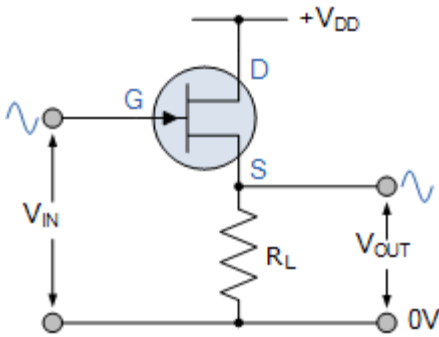
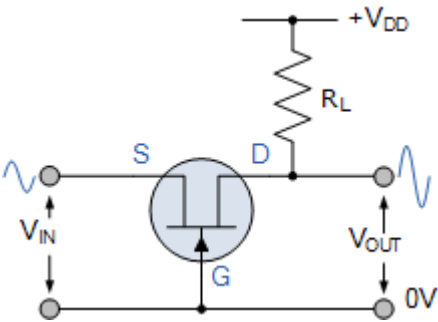
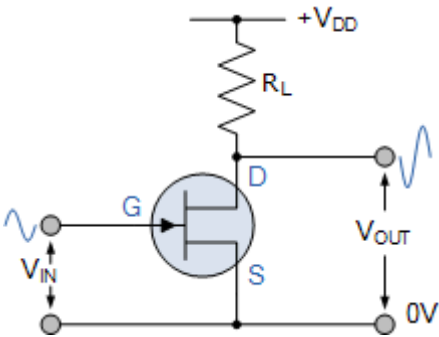
$$A_U = 6.5\times$$

JFET FS erősítő alkapcsolás

Ha növelni szeretnénk A_U -t, akkor csak megnöveljük $R1$ értékét?



JFET alapkapcsolások



Földelt Source-ú / Common source	Földelt Gate-ű / Common gate	Földelt Drain-ű / Common drain
Nagy bemeneti impedancia	Kicsi bemeneti / nagy kimeneti impedancia	Nagy bemeneti / kicsi kimeneti impedancia
Jó feszültségerősítés	~1x áramerősítés	~1x feszültségerősítés
Audió erősítők, nagy impedanciájú bemeneti fokozatok	Nagyfrekv. eszközökben (alacsony zaj), impedancia illesztés	Buffer erősítők
180° fázistolás	0° fázistolás	0° fázistolás

JFET vs. Bipolár/MOSFET tr. 1.

- JFET tr. **Nincs PN átmenet az áram útjában**
 - DE kisebb adalékolású és kisebb keresztmetszetű vezető csatorna
- JFET tr. **bemeneti impedanciája magasabb**, mint bipoláris tr.
 - Nagyon érzékenyek a bemeneti feszültségváltozásra
 - Viszont ESD veszély!
- Túláram, túlmelegedés veszély!
 - PN átmenetek!

JFET vs. Bipolár/MOSFET tr. 2

- JFET tr. **gate árama** (záróirányú áram a lezárt PN átmeneteken) jóval **kisebb, mint bipoláris tranz.**
- JFET tr. **g_m** (transzkonduktancia, meredekség) értéke **magasabb, mint MOSFET tr., de alacsonyabb, mint bipoláris tr.**
- JFET tr. **villódzási** (flicker, $1/f$) **zaja kisebb, mint MOSFET tr.** (felületi csapdák okozzák)

JFET eszközöket alacsony zajú, nagy kimenő impedanciával rendelkező műveleti erősítőkben alkalmaznak