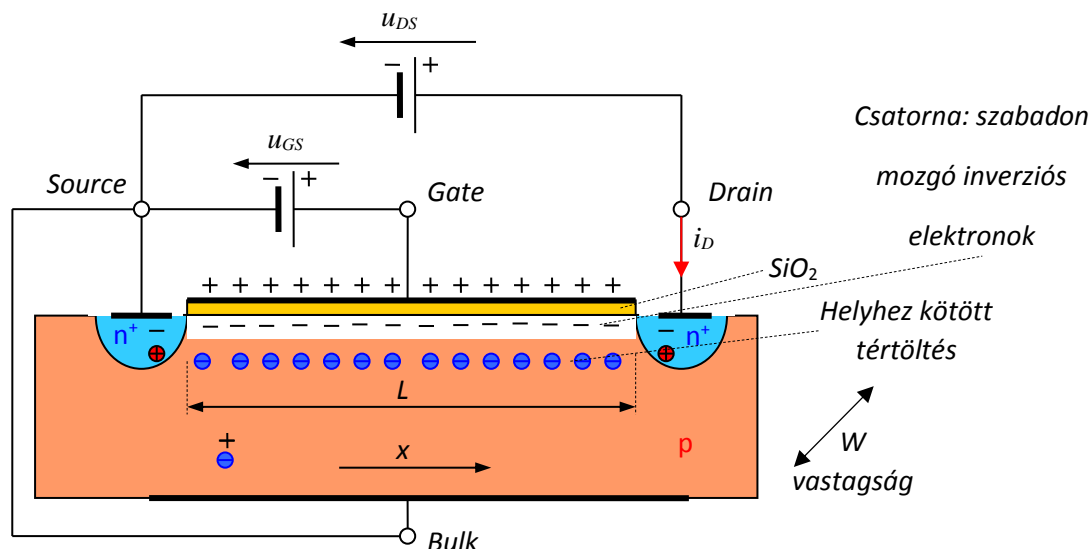


## MOS FET: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

## Növekményes (Enhancement) MOSFET vizsgálata



- 1.)  $u_{DS}$  pozitív, kicsi érték,  $u_{GS} = 0$ ,  $\rightarrow i_D = 0$  (npn struktúra, záró irányú Bulk (p) és Drain (n+) PN átmenet, záró irányú dióda, áram nem folyik)
- 2.) továbbra is  $u_{DS}$  pozitív, kicsi érték,  $u_{GS}$  nő, ennek hatására tértöltés, kiürített réteg alakul ki
- 3.) továbbra is  $u_{DS}$  pozitív, kicsi érték,  $u_{GS}$  tovább nő és eléri az a küszöb feszültséget, amikor a Source n+ szigetből MOS kondenzátor p félvezető oldalához diffundáló elektronok már nem a p típusú félvezető elektron hiányait pótolják a felület közelében, hanem a bediffundáló elektronok szabad, elmozdulni képes negatív töltéshordozókként állnak szemben a MOS kondenzátor másik fegyverzetén lévő pozitív töltésekkel. Ez az  $u_{GS} > U_P$  ( $U_{th}$ ) Gate - Source feszültség esetén áll fenn, kialakul egy inverziós réteg, ami szabadon mozgó elektronokból áll. Létrejön a csatorna, megindulhat a drain áram, ha a Gate-Source feszültség ezt megindítja.

Számítsuk ki ezt a Drain áramot:

Legyen tehát  $u_{DS}$  kicsi, pozitív érték,  $u_{GS} > U_P$ .

A felületegységre eső kapacitás:  $C^* = \frac{C}{A} = \varepsilon \frac{A}{d} \frac{1}{A} = \frac{\varepsilon}{d}$

A felület egységre eső inverziós, elmozdulni képes töltés, ahol azt az U feszültséget vesszük figyelembe, ami az inverziós töltés létrehozásához szükséges, tehát a Gate Source feszültség  $U_P$ -nél nagyobb részét vesszük:

$$Q^* = C^*(u_{GS} - U_P)$$

A delta t idő alatt delta x távolságot tesznek meg az elektronok az  $U_{DS}$  feszültség hatására:

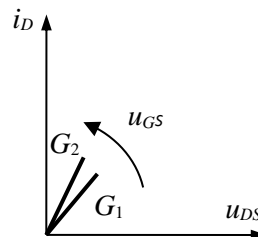
$$i_D = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{C^*(u_{GS} - U_P)w\Delta x}{\Delta t} = C^*(u_{GS} - U_P)wv_n \quad \frac{\Delta x}{\Delta t} = v_n$$

$$v_n = \mu_n E = \mu_n \frac{u_{DS}}{L}$$

$$i_D = C^* (u_{GS} - U_P) \frac{w}{L} \mu_n u_{DS} = G u_{DS} \quad u_{GS} > U_P$$

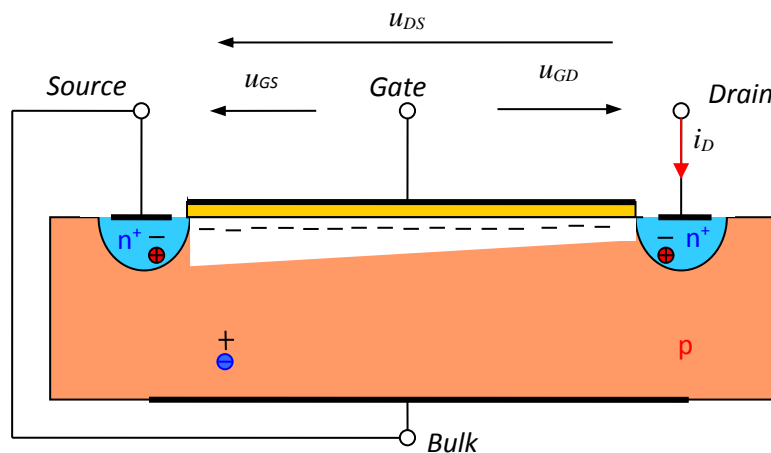
A Gate Source feszültséggel beállítható vezetés:

$$G = C^* (u_{GS} - U_P) \frac{w}{L} \mu_n = \epsilon \mu_n \frac{w}{Ld} (u_{GS} - U_P)$$



A FET  $u_{GS}$  függő ( ezzel szabályozható) ellenállása, ami felfogható úgy is, mint egy bekapcsolt elektronikus kapcsoló ellenállása:  $R_{on} = \frac{1}{G} = \frac{1}{\epsilon \mu_n} \frac{Ld}{w} \frac{1}{(u_{GS} - U_P)}$ ,  $R_{on}$  milliohm, tehát nagyon kicsi is lehet nagy Gate Source feszültség esetén!!! Igen jó kapcsolóként tud a MOSFET működni.

- 4.) Növeljük  $u_{DS}$ -t, az eddigi kicsi értékéről. Ekkor a Drain oldalon az inverziós réteg vékonyodik, hiszen a Gate Drain feszültség csökkenni fog a drain potenciáljának emelése miatt, és a drain oldali inverziós réteg amiatt vékonyabb lesz. Tehát egy szűkebb vezető alakul ki a drain oldalon az ábra szerint, aminek nagyobb az ellenállása, mintha nem szűkítettük volna le.

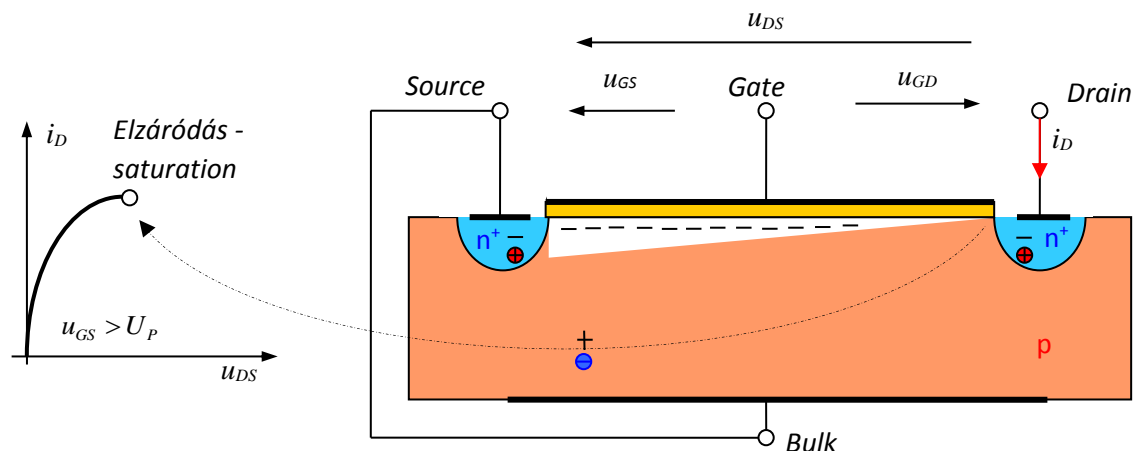


A Drain Source feszültség növelésének hatására tehát nő a csatorna ellenállása, tehát az áram növekedési üteme elmarad a lineáristól, amit ez az egyenlet jól leír:

$$i_D = \frac{1}{2} C^* \frac{w}{L} \mu_n [2(u_{GS} - U_P) u_{DS} - u_{DS}^2]$$

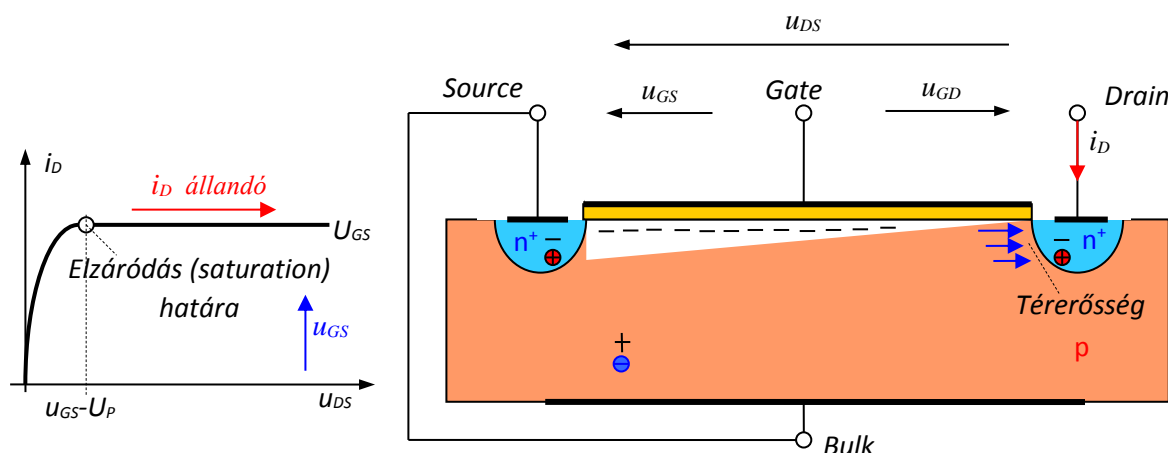
#### 4. előadás

Tovább növelve a Gate -Source feszültséget, a csatorna egyszer csak teljesen elvékonyodik. Ez az az eset, amikor a Gate-Drain feszültség  $U_p$  lesz:



Ez az elzáródás, *pinch off (saturation)* jelensége, ekkor viszont nem lesz nulla a drain áram, hiszen ez az elzáródás infenitezimálisan kicsi, hanem csak nem nő tovább a Drain - Source feszültség további növelésével. Az elzáródásnál kialakuló nagy térerősség elragadja az odaérkező elektronokat.

Elzáródás:  $u_{GD} = U_p$



Az elzáródás határa a Drain áram függvényének maximuma:

$$\frac{di_D}{du_{DS}} = \frac{1}{2} C^* \frac{w}{L} \mu_n [2(u_{GS} - U_p) - 2u_{DS}] = 0$$

$$u_{GS} - U_p = u_{DS}$$

$$u_{GS} - u_{DS} = u_{GD} = U_p$$

A Drain Source feszültség helyére beírva az elzáródásra jellemző  $u_{GS} - U_p = u_{DS}$  feszültséget,

$$\text{kapjuk: } i_D = \frac{1}{2} C^* \frac{w}{L} \mu_n (u_{GS} - U_p)^2 = \frac{1}{2} C^* \frac{w}{L} \mu_n U_p^2 \frac{(u_{GS} - U_p)^2}{U_p^2} = I_{D00} \left( \frac{u_{GS} - U_p}{U_p} \right)^2$$

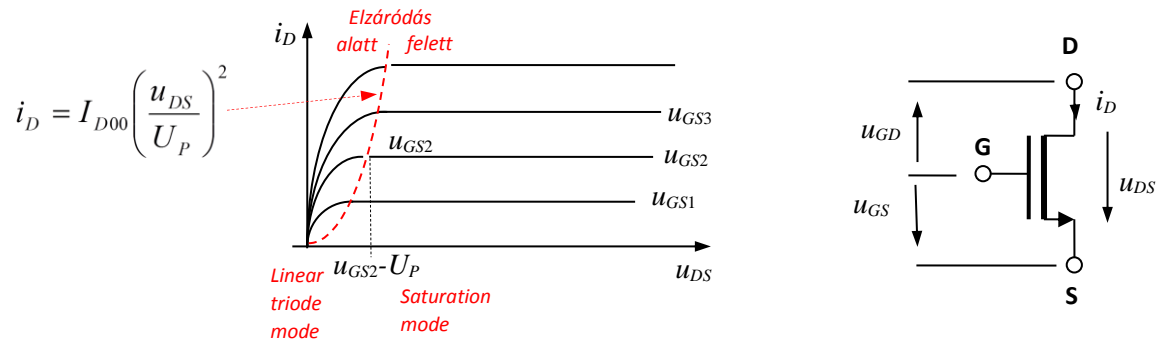
#### 4. előadás

ahol:

$$I_{D00} = (I_{DSS}) = \frac{1}{2} C^* \frac{w}{L} \mu_n U_p^2$$

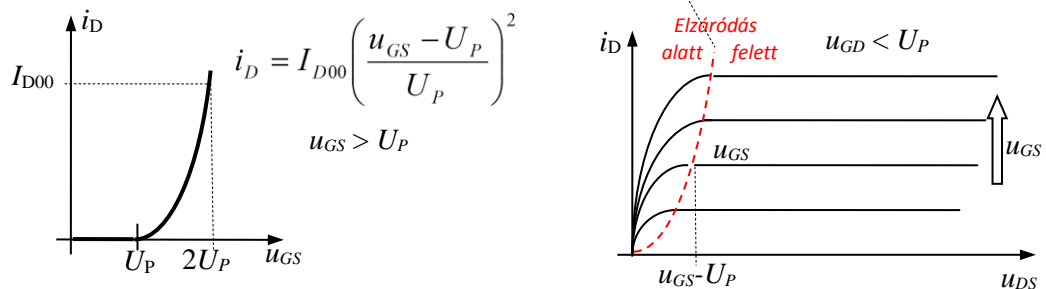
Az elzáródás felett az áram tovább nem nő a Drain Source feszültség további növelésekor.

**Növekményes (Enhancement) NMOS FET** karakterisztikái:

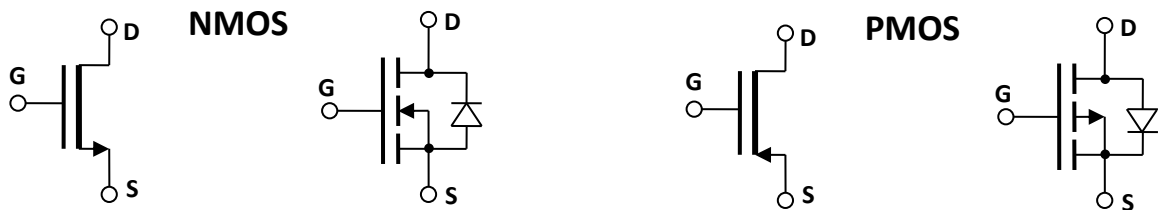


Az elzáródás határa:  $u_{GS} - u_{DS} = u_{GD} = U_P \rightarrow u_{GS} = u_{DS} + U_P$

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

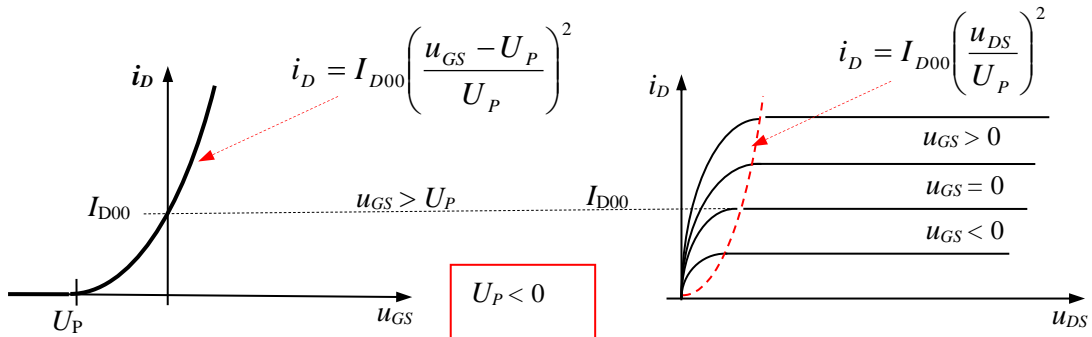


**Rajz jelei:**

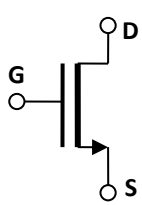
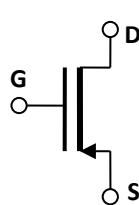
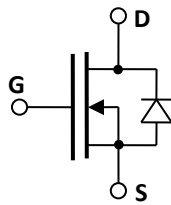
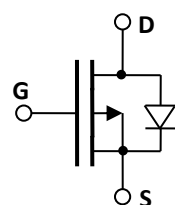


**Kiürítéses (Depletion) NMOS FET**

Az  $I_{D00}$  paramétert kiürítéses MOSFET esetén gyakran  $I_{DSS}$ -el jelölik. A kiürítéses MOSFET  $U_P$  feszültsége negatív,  $u_{GS}$  feszültsége lehet negatív – kiürítéses szakasz, vagy pozitív – növekményes szakasz.

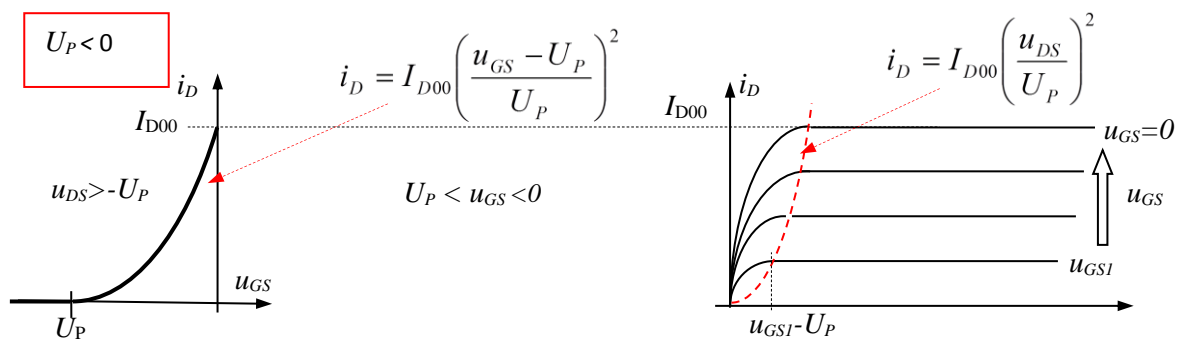
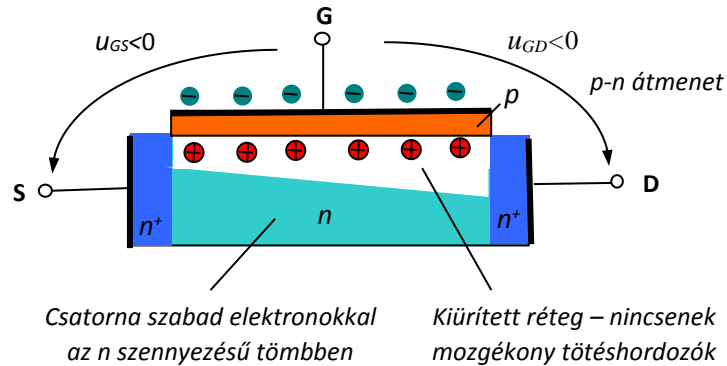


**Rajz jelei:**

**NMOS****PMOS**

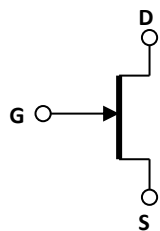
### JFET: (Junction FET) NJFET

Záró irányú p-n átmenet a Gate elektróda.

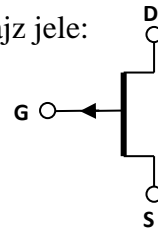


Az  $I_{D00}$  paraméter JFET esetén gyakran  $I_{DSS}$ -el jelölik. A JFET  $U_P$  feszültsége negatív,  $u_{GS}$  feszültsége *csak negatív lehet*, mivel pozitív  $u_{GS}$  esetén a pn átmenet kinyitna.

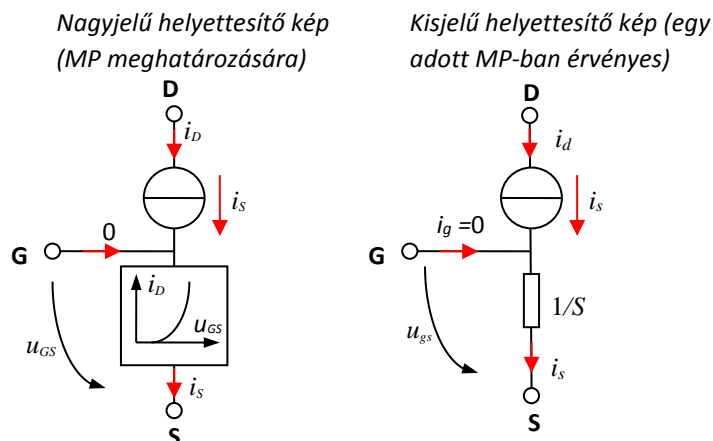
NJFET Rajz jele:



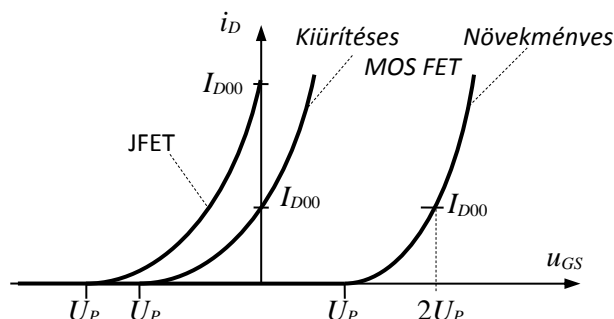
PJFET Rajz jele:



**Helyettesítő képek:** (elzáródás feletti, (saturation) tartományban)



Együtt a három FET:



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

$$S = \frac{di_D}{du_{GS}} = \frac{d}{du_{GS}} I_{D00} \left( \frac{u_{GS} - U_P}{U_P} \right)^2 = \frac{2I_{D00}}{|U_P|} \left( \frac{u_{GS} - U_P}{U_P} \right)$$

A munkapontban:  $u_{GS} = U_{GS0}$   $i_D = I_{D0} = I_{D00} \left( \frac{U_{GS0} - U_P}{U_P} \right)^2$

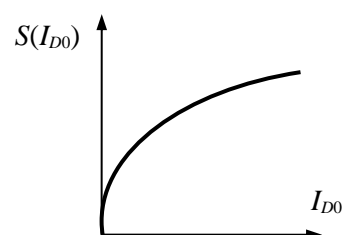
$$S = \left. \frac{di_D}{du_{GS}} \right|_{U_{GS0}} = \frac{2I_{D00}}{U_P} \left( \frac{u_{GS} - U_P}{U_P} \right) \Big|_{U_{GS0}} = 2 \frac{I_{D0}}{(U_{GS0} - U_P)}$$

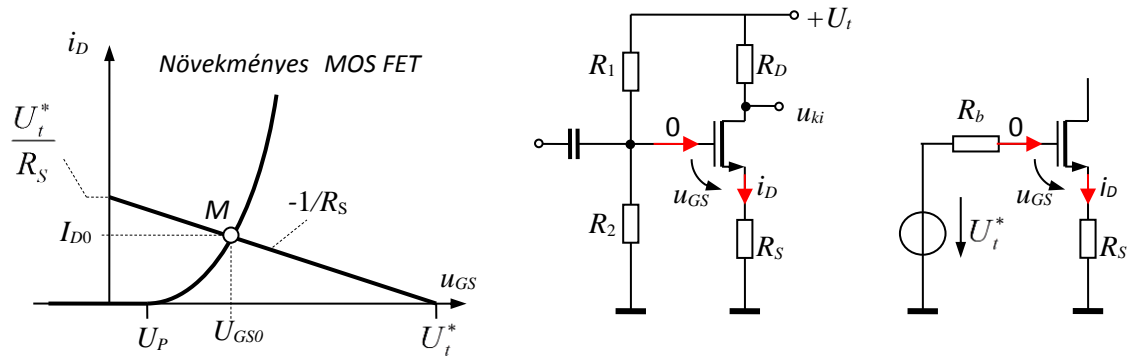
A meredekség függése a munkaponti áramtól:

$$S(I_{D0}) = \frac{2I_{D00}}{|U_P|} \left( \frac{U_{GS0} - U_P}{U_P} \right) = \frac{2I_{D00}}{|U_P|} \sqrt{\frac{I_{D0}}{I_{D00}}} = \frac{2\sqrt{I_{D00}}}{|U_P|} \sqrt{I_{D0}}$$

miel:

$$\left( \frac{U_{GS0} - U_P}{U_P} \right) = \sqrt{\frac{I_{D0}}{I_{D00}}}$$



**Növekményes MOS FET munkapont beállítás:**

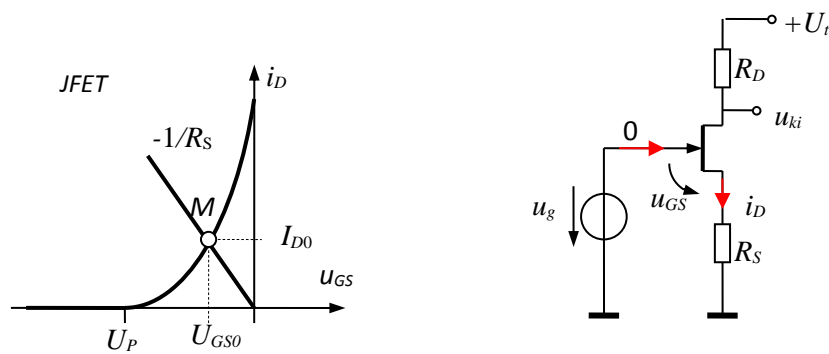
Két egyenlet, két ismeretlen (másodfokú egyenletre jutunk!!!)

$$1.) \quad U_t^* = u_{GS} + R_S i_D \rightarrow i_D = -\frac{1}{R_S} u_{GS} + \frac{U_t^*}{R_S} \quad \text{ahol: } U_t^* = U_t \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad R_b = R_1 \times R_2$$

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

A megoldás:  $i_D = I_{D0} \quad u_{GS} = U_{GS0} > U_P$  (Az egyik gyök hamis !!!)



**JFET munkapont beállítás:**

Két egyenlet, két ismeretlen

$$1.) \quad 0 = u_{GS} + R_S i_D \rightarrow i_D = -\frac{1}{R_S} u_{GS}$$

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

A megoldás:  $i_D = I_{D0}$   $u_{GS} = U_{GS0} > U_P$  (Az egyik gyök hamis !!!)

**Kiürítéses MOS FET lehetséges munkapont beállításai:**