

## 5. Unipoláris tranzisztorok

Azokat a tranzisztorokat amelyeknek áramát csak egyetlen fajta töltéshordozó (elektron vagy lyuk) biztosítja, a szakirodalomban *unipoláris vagy térvezérlésű tranzisztoroknak* nevezik. Rövidített elnevezésük *FET*, amely az angol – *Field Effect Transistor* – kifejezés szavainak kezdőbetűit tartalmazza. Működésük egy félvezető kristályból álló *csatorna* vezetőképességének külső elektromos tér segítségével való változtatásán alapszik. Az elektromos teret egy *kapunak* nevezett vezérlőelektróda segítségével hozzák létre a csatorna keresztmetszetében.

A kapuelektróda felépítésének függvényében, megkülönböztetünk *záróréteges* (röviden JFET) és *szigetelt kapuelektródás (MOSFET) térvezérlésű tranzisztorokat*. A térvezérlésű tranzisztorok előnyös tulajdonságai – a bipoláris tranzisztorokhoz viszonyítva – a nagy értékű bemeneti ellenállás, egyszerű gyártástechnológia és kisebb helyigény az integrált áramkörök szerkezetében.

### 5.1. Záróréteges térvezérlésű tranzisztorok

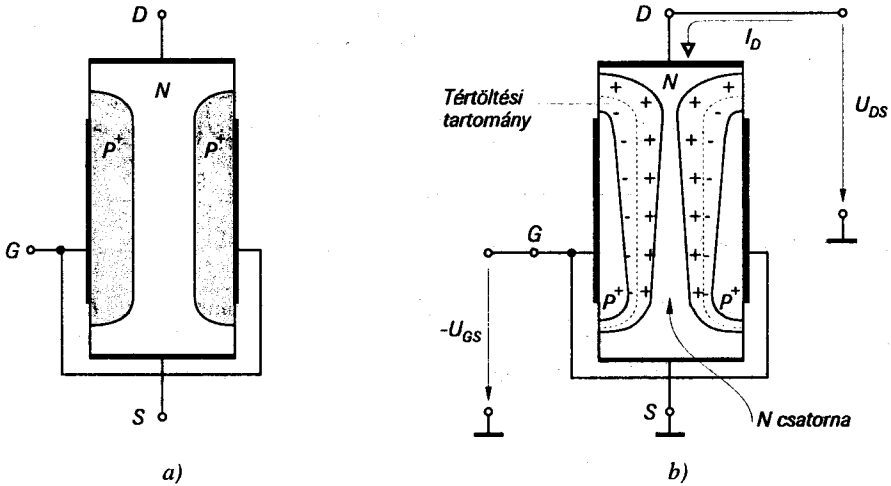
#### 5.1.1. Felépítés és fizikai működésmód

A záróréteges térvezérlésű tranzisztorok (JFET) *csatornáját* a félvezető térfogatában két záróirányban polarizált PN-átmenet határolja (5.1. ábra). A JFET tranzisztorokat *N* és *P* csatornás változatban készítik; az ábra az *N* csatornás változatot mutatja. A csatorna 10 + 100 -szor hosszabb mint a vastagsága. A csatorna két végére fémzéssel kapcsolt elektródák a *D drain* (drain  $\equiv$  nyelő) és az *S source* (source  $\equiv$  forrás). A vezérlőszerepet játszó elektróda a *G gate* (gate  $\equiv$  kapu). A JFET tranzisztor szerkezetét egy nagyon vékony, gyengén szennyezett réteg (csatorna) alkotja, amely két erősen szennyezett, a csatornával ellentétes szennyezettségű félvezető réteg között helyezkedik el. Az egyik PN-átmenet a gate és a csatorna között, míg a másik átmenet a félvezető *szubsztrátnak* nevezett többi része és a csatorna között helyezkedik el.

Ha a csatorna két elektródájára feszültséget kapcsolunk ( $U_{DS}$ ) és a gate elektróda feszültsége ( $U_{GS}$ ) nulla, a két PN-átmenet záróirányú polarizálást kap. Az *N*-típusú csatornában a *D drain* elektródától az *S source* elektróda felé áramló elektronok árama  $U_{GS} = 0$  feszültségnél a legnagyobb, mivel ebben az esetben a csatorna szélessége maximális. Ezen tulajdonsága miatt a záróréteges térvezérlésű tranzisztorokat *önvezetőknek* is nevezzük.

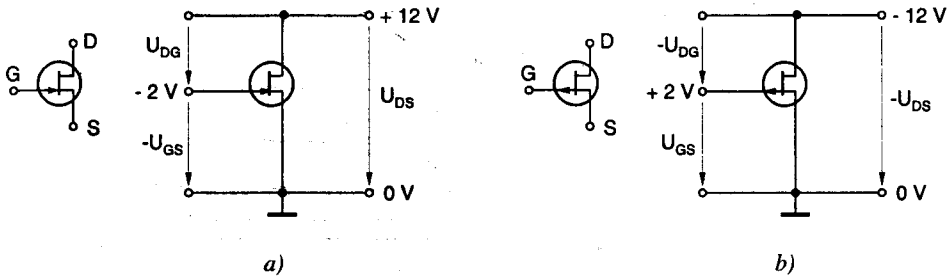
A zárórétegek szélessége, – amelyek meghatározzák a csatorna keresztmetszetét – annál nagyobb, minél nagyobb a záróirányban ható feszültség. Minél nagyobb a zárófeszültség annál kisebb a vezetőréteg keresztmetszete, tehát az ellenállása is. A csatorna-ellenállás növekedése a csatornán folyó  $I_D$  áram csökkenését eredményezi, amely sajátságos esetben nulla is lehet. Az elektronok áramlása csak a csatornán keresztül lehetséges, mivel a zárórétegekben kialakult tértöltésű zónák elektromos erőtere megakadályozza mozgásukat ezekben a tartományokban.

A zárórétegek szélessége az  $U_{GS}$  feszültség segítségével vezérelhető. A szükséges vezérlőtjeljesítmény minimális értékű, mivel a kisebbségi töltéshordozók mozgásának eredményeképpen egy elhanyagolható nagyságú záróirányú áram folyik ( $\approx 10^{-8} + 10^{-10}$  A).



5.1. ábra. Az  $N$  csatornás JFET  
a) elvi felépítése b) zárórétegei

Az  $U_{GS}$  feszültségnek a vezérelhetőség biztosítása miatt  $N$  csatornás JFET esetén **negatív**nak, míg  $P$  csatornás eszköz esetén **pozitív**nak kell lennie (a source elektródához viszonyítva). Hasonló módon az  $U_{DS}$  feszültség  $N$  csatornás JFET esetén **pozitív**,  $P$  csatornás JFET esetén pedig **negatív** (a source elektródához képest). A 5.2. ábra a két típusú JFET feszültségeit és szabványos rajzjeleit mutatja.

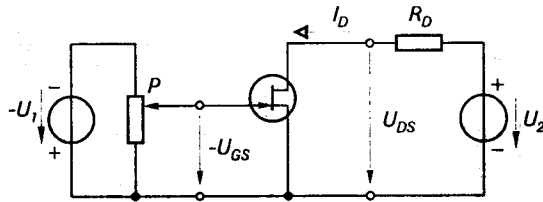


5.2. ábra. A JFET rajzjele és polarizáló feszültségei  
a)  $N$  csatornás típus esetén; b)  $P$  csatornás típus esetén

## 5.1.2. Jelleggörbék, adatok, határértékek

### Jelleggörbék

A 5.3. ábra a karakterisztikák felvételére alkalmas áramkört mutatja. Mivel a  $JFET$  bemeneti vezérlőárama gyakorlatilag nullának tekinthető, nem határozható meg bemeneti jelleggörbe. Az 5.4. ábra kisjelű záróréteges FET jellemző karakterisztikáit mutatja. Az árviteli jelleggörbe esetén (5.4.a. ábra) a gate-source feszültségtartomány negatív.

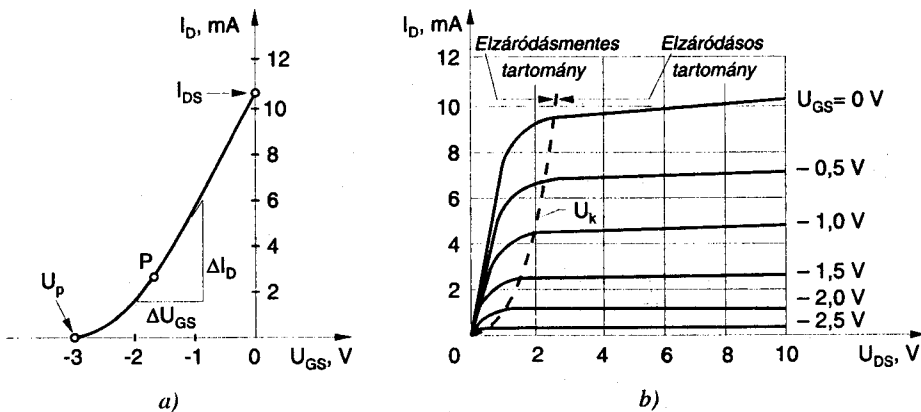


5.3. ábra. A JFET mérőkapcsolása a karakterisztikák felvételére

Azt a gate-source feszültséget, amelynél az  $I_D$  draináram nulla,  $U_p$  **elzáródási feszültségnek** nevezik (*pinch-off voltage*). Az elzáródási feszültségnél nagyobb gate-source feszültség esetén ( $|U_{GS}| > U_p$ ) a tranzisztor csatorna-áramának változása, a következő egyenlet szerint történik:

$$I_D = I_{DS} \cdot \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_p}\right)^2 \quad (5.1.)$$

Az  $I_{DS}$  az a draináram, amely  $U_{GS} = 0$  feszültségnél folyik. Ez a záróréteges térvezérlésű tranzisztoroknál elérhető maximális értéknek tekinthető, mivel pozitív gate-source feszültséget használva erőteljesen megnő a gate-áram.



5.4. ábra. Az N csatornás záróréteges FET jelleggörbéi  
a) átviteli jelleggörbe b) kimeneti jelleggörbe

A kimeneti jelleggörbének megfelelő  $I_D$  és  $U_{DS}$  paraméterek összefüggését, az 5.4.b. ábra szemlélteti. A kimeneti jelleggörbék, egyenként egy adott  $U_{GS}$  gate-source feszültség mellett érvényesek. Megfigyelhető, hogy az  $U_{DS}$  drain-source feszültség növekedésével nő az  $I_D$  draináram és természetesen a drain elektróda közelében egyre jobban csökken a csatorna keresztmetszete (5.1. ábra). Az  $U_{DS} = U_k$  (**könyökfeszültség**) feszültségértéknél, a csatorna keresztmetszete a drain közelében eléri minimumát és ennek következtében a feszültség további növelése nem befolyásolja számottevően  $I_D$  értékét, amely elér egy **telítési értéket**.

A legnagyobb  $I_D$  érték a fizikai működésnek megfelelően az  $U_{GS} = 0$  feszültséghez tartozik. A kimeneti karakterisztikát két tartományra oszthatjuk:

- **elzáródásmentes tartomány** ( $U_{DS} \leq U_k$ ); Kis értékű  $U_{DS}$  feszültségnél  $I_D$  közelítően egyenesen arányos az  $U_{DS}$  feszültséggel. Az  $U_k = U_{GS} - U_p$  könyökfeszültség alatt a csatornaáram az

$$I_D = \frac{I_{DS}}{U_p^2} \cdot \left[ 2 \cdot U_{DS} \cdot (U_{GS} - U_p) - U_{DS}^2 \right] \quad (5.2.)$$

egyenlet szerint változik.

- **elzáródásos tartomány** ( $U_{DS} > U_k$ ); Itt a tranzisztor drainárama az (5.1.) egyenletnek megfelelően, csak az  $U_{GS}$  gate-source feszültség függvénye.

### Jellemző adatok

Egy  $P$  munkapontra vonatkoztatva (5.4. ábra) a JFET **meredekségét** ( $S$ ), az átviteli jelleggörbe meredekségével definiáljuk:

$$S = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}} \Bigg|_{U_{DS} = \text{állandó}} \quad (\text{tipikus értéke } S \approx 3 + 10 \frac{\text{mA}}{\text{V}});$$

ahol  $\Delta I_D$  a draináram változása és  $\Delta U_{GS}$  a gate-feszültség változása.

A drain-áramot kizárólag az  $U_{GS}$  feszültség határozza meg,  $U_{DS}$ -től csak kismértékben függ. Az  $I_D$  áram,  $U_{DS}$ -től való függését a **differenciális kimeneti ellenállás** ( $r_{DS}$ ) határozza meg:

$$r_{DS} = \frac{\Delta U_{DS}}{\Delta I_D} \Bigg|_{U_{GS} = \text{állandó}} \quad (\text{tipikus értéke } r_{DS} \approx 80 + 100 \text{ k}\Omega).$$

A **bemeneti ellenállás** ( $r_{GS}$ ) nagyon nagy és közelítően állandó értéket képvisel:

$$r_{GS} \approx 10^{10} + 10^{14} \Omega$$

Az  $U_p$  **elzáródási feszültség** az a gate-feszültség, amelynél a draináram nulla; jellemző értéke:

$$U_p \approx -1,5 \text{ + - } 4,5 \text{ V (N csatornás JFET esetén).}$$

A záróirányú áramok (amelyeket a kisebbségi töltéshordozók hozták létre) a JFET-ek esetén csekély értéket képviselnek:

$$I_{G0} \text{ - gate-záróáram; tipikus értéke } I_{G0} \approx 5 \text{ nA;}$$

$$I_{D0} \text{ - drain-záróáram; tipikus értéke } I_{D0} \approx 20 \text{ nA.}$$

### Határértékek

A zárórteges térvezérlésű tranzisztorok határértékei nagyon hasonlítanak a bipoláris tranzisztorok határadataihoz. Túllépésük a tranzisztor tönkremeneteléhez vezet.

A JFET legfontosabb határértékei, a következők:

$U_{DS\ max}$	– maximális drain-source feszültség; tipikus értéke:	$U_{DS\ max} \approx 30\ V,$
$U_{GS\ max}$	– maximális gate-source feszültség; tipikus értéke:	$U_{GS\ max} \approx -20\ V,$
$I_{D\ max}$	– maximális draináram; tipikus értéke:	$I_{D\ max} \approx 25\ mA,$
$P_{tot\ max}$	– maximális veszteségi teljesítmény; tipikus értéke:	$P_{tot\ max} \approx 300\ mW,$
$T_{j\ ma}$	– maximális záróréteg-hőmérséklet; tipikus értéke:	$T_{j\ max} \approx 130\ ^\circ C.$

A megadott tipikus értékek, kisjelű  $N$  csatornás JFET-ekre érvényesek. A *veszteségi teljesítmény* a JFET esetén, – mivel  $I_G \approx 0$  – az  $I_D$  draináram és az  $U_{DS}$  drain-source feszültség szorzata:

$$P_{tot} = U_{DS} \cdot I_D.$$

## 5.2. MOSFET tranzisztorok

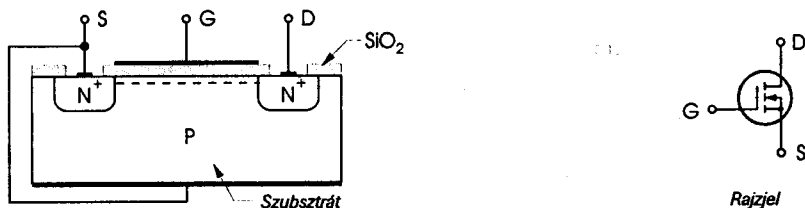
A MOS típusú térvezérlésű tranzisztorok elnevezése felépítésükkel függ össze: – a MOS  $\equiv$  Metal-Oxid-Semiconductor jelentése, fém-oxid-félvezető.

### 5.2.1. Felépítés és fizikai működésmód

A MOSFET tranzisztorok lehetnek felépítésüktől függően *növekményes* (önzáró) és *kiürítéses* (önvezető) típusúak. Mindegyik változat előállítható  $N$ - és  $P$  csatornás kivitelben.

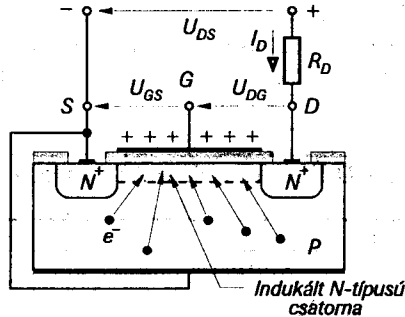
#### Növekményes (önzáró) típusú MOSFET

A 5.5. ábra egy  $N$  csatornás, növekményes változat felépítését szemlélteti, a szabványos rajzjelével együtt. A tranzisztor aktív része egy  $P$ -típusú, gyengén szennyezett Si alakkristályból áll, amelyet *szubsztrátnak* neveznek. Az alakkristályban két erősen szennyezett  $N$ -típusú vezető szigetet alakítanak ki, amelyek csatlakozással ellátva a tranzisztor  $S$  source- és  $D$  drain-elektrodáját alkotják. A kristály külső felületén termikus oxidációval nagyon jó szigetelő tulajdonsággal rendelkező szilícium-dioxid ( $SiO_2$ ) fedőréteget növesztenek, amelyen az  $S$  és  $D$  csatlakozások számára ablakot hagynak. A  $SiO_2$  szigetelőrétegre vékony fémréteget visznek fel, pl. párologtatással; ez lesz a gate-vezérlőelektróda, amely ily módon elszigetelődik a kristálytól. A szubsztrát kivezetését általában a tokon belül összekötik az  $S$  source-elektrodával, vagy külön kivezetésként a tokon kívülre vezetik.



5.5. ábra. Az  $N$  csatornás, növekményes MOSFET elvi felépítése és rajzjele

Ha a gate-elektroda szabadon van, bármilyen polaritású feszültséget kapcsolunk a drain és a source közé a tranzisztor zárva marad, azaz nem fog áram folyni a két kivezetés között. A gate-elektrodára pozitív feszültséget kapcsolva a source-hoz képest a *szubsztrátban elektromos tér keletkezik* (5.6. ábra). A külső elektromos tér hatására a szubsztrátban található kisebbségi töltéshordozó *elektronok* közvetlenül a  $\text{SiO}_2$  szigetelőréteghez vándorolnak és az  $S$  és  $D$  elektróda között egy  $N$ -típusú *vezetőcsatornát* alkotnak. Az  $I_D$  draináram ilyen feltételek mellett megindul. *A csatorna vezetőképessége az  $U_{GS}$  gate-source feszültséggel szabályozható*. Minél nagyobb  $U_{GS}$  értéke, a csatorna vezetőképessége annál nagyobb és következésképpen annál nagyobb  $I_D$  értéke is.



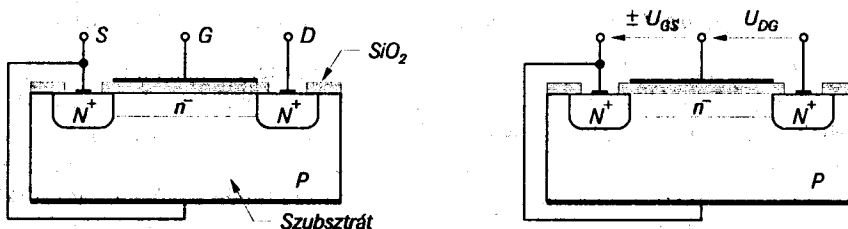
5.6. ábra. A vezetőcsatorna képződése  $N$  csatornás, növekményes típusú MOSFET esetén

Mivel a vezérlést elektromos tér hozza létre, hasonlóan a JFET-hez vezérlőteljesítmény gyakorlatilag nem szükséges. Az  $I_D$  draináram az  $U_{GS}$  gate-source feszültséggel teljesítmény felvétele nélkül vezérelhető.

Az ismertetett MOSFET típusnak az a jellegzetessége, hogy  $U_{GS} = 0$  feszültségnél le van zárva, emiatt *önzáró* tranzisztoroknak is nevezik. A *növekményes* elnevezés arra a tulajdonságára utal, hogy a csatorna elektrondúsulás ( $P$  csatornás változat esetén *lyukak*) révén keletkezik pozitív gate-feszültség jelenlétében.

### Kiürítéses (önvezető) típusú MOSFET

Ha az  $\text{SiO}_2$  szigetelőréteg alatti szubsztrátban gyenge  $N$ -típusú szennyezést valósítanak meg ( $N$  csatornás változat) akkor vezetőképés összeköttetés lép fel az  $S$  és  $D$  között anélkül, hogy a gate-elektrodára feszültséget kapcsolnánk. Az ilyen felépítésű tranzisztort *önvezető* MOSFET-nek nevezik. Az  $N$  csatornás változat felépítése és feszültségviszonyai az 5.7. ábrán láthatók.



5.7. ábra. Az  $N$  csatornás, kiürítéses típusú MOSFET elvi felépítése és feszültségviszonyai

Az önvezető MOSFET esetén  $I_D \neq 0$ , ha  $U_{GS} = 0$ . Vezérlése mind pozitív, mind negatív gate-feszültséggel lehetséges. Ennek megfelelően két üzemmódban működhet:

- dúsítós üzemmód** ( $U_{GS} > 0$ ), amikor a pozitív gate-feszültség a csatorna elektronokkal való feldúsulásához és nagyobb vezetőképességéhez vezet;
- kiürítéses üzemmód** ( $U_{GS} < 0$ ), amikor a negatív gate-feszültség a csatorna elektronokban való elszegényesedéséhez és vezetőképességének csökkenéséhez vezet.

Mivel a kiürítéses üzemmódot gyakrabban alkalmazzák, ezért ezeket a tranzisztorokat *kiürítéses típusúnak* nevezik. Az eddigiek során tárgyalt MOSFET-ek  $N$  csatornás kivitelűek voltak. Természetesen a működési elvek maradéktalanul érvényesek a  $P$  csatornás típusokra is, ha megfordítjuk az alkalmazott feszültségek polaritását. Az 5.1. táblázat a térvezérlésű tranzisztorok felosztását, áramköri jelölésüket és alkalmazási területüket tartalmazza.

<b>TÉRVEZÉRLÉSŰ TRANZISZTOROK TÍPUSAI</b>					
Záróréteges FET ( JFET )		MOSFET			
Kiürítéses		Kiürítéses típusú		Növekményes típusú	
$N$ csatornás	$P$ csatornás	$N$ csatornás	$P$ csatornás	$N$ csatornás	$P$ csatornás
<i>Diszkrét kiszérvenciacs erősítők; Analog integ- rált áramkörök</i>	<i>Diszkrét kiszérvenciacs erősítők; Analog integ- rált áramkörök</i>	<i>Diszkrét nagyfrekvenciacs erősítők; Digitális integ- rált áramkörök</i>	<i>Diszkrét nagyfrekvenciacs erősítők; Digitális integ- rált áramkörök</i>	<i>Diszkrét nagyfrekvenciacs erősítők; Digitális integ- rált áramkörök</i>	<i>Diszkrét nagyfrekvenciacs erősítők; Digitális integ- rált áramkörök</i>

5.1. táblázat. FET-ek felosztása, áramköri jelölései és alkalmazása

### 5.2.2. Jelleggörbék, adatok, határértékek

#### Jelleggörbék

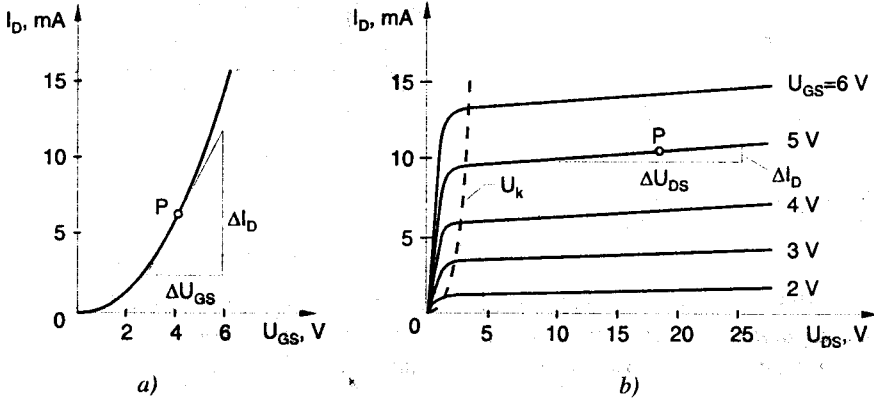
A MOSFET eszközök jellemzésére kétféle jelleggörbét használnak:

- Kimeneti jelleggörbék;** az  $I_D$  és  $U_{DS}$  értékei közötti kapcsolatot adja meg.
- Vezérlő jelleggörbék;** az  $I_D$  értékeinek az  $U_{GS}$  feszültségtől való függését ábrázolják.

Az  $N$  és  $P$  csatornás MOSFET-ek jelleggörbéi megegyeznek, csupán a feszültség és áram előjelét kell megváltoztatni. Az 5.8. ábra kisjelű  $N$  csatornás növekményes MOSFET jelleggörbéit ábrázolja. A karakterisztikák hasonlóak a bipoláris tranzisztorok karakterisztikáihoz, a *drain* a *kollektornak*, a *source* az *emitternek*, a *gate* pedig a *bázisnak* felel meg.

Az  $I_D$  áram csak akkor jelenik meg, ha az  $U_{GS}$  feszültség túllép egy határértéket (kb. 1÷2 V), amely ahhoz szükséges, hogy az elektrondúsulás nagysága a csatornában megfelelő értéket érjen el és kialakuljon a vezető hid.

Az  $U_{DS}$  feszültség növelésével az  $I_D$  draináram egy telítési értéket ér el. Ez a jelenség a gate és a drain közelében lévő csatorna potenciálkülönbségének csökkenésével magyarázható, amely a csatorna elektronokban való szegényedéséhez vezet. Az elektronok számának csökkenése a drain közelében lévő csatorna elvékonyodásához vezet, mint a JFET-ek esetében. Ez a jelenség az  $I_D$  áram,  $I_{DS}$  értékre való *telítődését* eredményezi.



5.8. ábra. Az N csatornás növekményes MOSFET jelleggörbéi  
a) átviteli jelleggörbe b) kimeneti jelleggörbe

### Jellemző adatok

Az átviteli jelleggörbe  $S$  *meredeksége* egy  $P$  munkapontban a MOSFET vezérlési tulajdonságait jellemzi:

$$S = \left. \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}} \right|_{U_{DS} = \text{állandó}} \quad (\text{jellemző érték: } S \approx 5 + 12 \frac{\text{mA}}{\text{V}}).$$

Itt  $\Delta I_D$  a draináram változása és  $\Delta U_{GS}$  a gate-feszültség változása, ha  $U_{DS}$  állandó.

A kimeneti jelleggörbe meredeksége egy  $P$  munkapontban az ebben a pontban érvényes,  $r_{DS}$  *differenciális kimeneti ellenállást* adja meg:

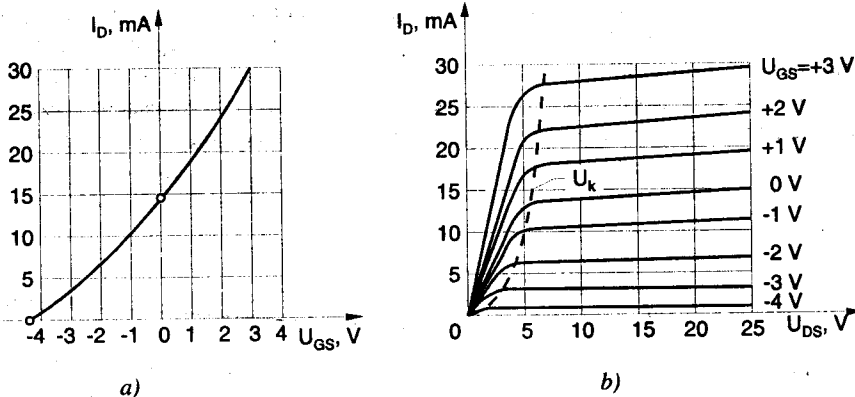
$$r_{DS} = \left. \frac{\Delta U_{DS}}{\Delta I_D} \right|_{U_{GS} = \text{állandó}} \quad (\text{jellemző érték: } r_{DS} \approx 10 + 50 \text{ k}\Omega);$$

ahol  $\Delta U_{DS}$  a drain-feszültség változása és  $\Delta I_D$  a draináram változása, ha  $U_{GS}$  állandó.

Az N csatornás kiürítéssel MOSFET karakterisztikái az 5.9. ábrán láthatók. Felépítésének megfelelően  $U_{GS} = 0$  V feszültségen egy bizonyos értékű  $I_D$  draináram folyik. Ha  $U_{GS} > 0$ , akkor a csatorna vezetőképessége és a draináram nő. A kimeneti jelleggörbék *magasabban* helyezkednek el. Ha  $U_{GS} < 0$ , akkor a csatorna vezetőképessége és a draináram csökken. A kimeneti jelleggörbék *alacsonyabban* helyezkednek el.

A MOS tranzisztorok  $r_{GS}$  *bemeneti ellenállása* sokkal nagyobb mint a bipoláris tranzisztoroké, elérheti a  $10^{13} + 10^{15} \Omega$  értéket is; tipikus értéke  $r_{GS} \approx 10^{14} \Omega$ .





5.9. ábra. Az N csatornás kiűrtésű MOSFET jelleggörbéi  
a) átviteli jelleggörbe b) kimeneti jelleggörbe

A MOSFET eszközök egyik hátránya, hogy a gate és a szubsztrát között fellépő, ún.  $C_{GS}$  **bemeneti kapacitás** már viszonylag kis feszültségeken – 50 V körüli értéken – átüt és a tranzisztor maradandóan károsodik. A bemeneti kapacitás jellemző értéke:

$$C_{GS} \approx 2 + 5 \text{ pF.}$$

A nagyon nagy bemeneti ellenállás miatt a tranzisztor átütését okozó feszültség igen könnyen felléphet. Nagyon veszélyes a **statikus töltés**, ami a tranzisztorra már érintéskor is átütheti. Ennek elkerülése céljából a MOSFET-eket rövidrezárt csatlakozásokkal szállítják és tárolják. Áramkörökbe való beépítésükkor földelik a munkaasztalt, a készüléket és a forrasztópákát. A MOSFET-ek védelme céljából a gate és a szubsztrát közé egyes esetekben Zener-diódát építenek be, ami természetesen negatívan befolyásolja az eredő bemeneti ellenállás értékét.

A MOSFET-ek gate-árama gyakorlatilag nullának tekinthető, mégis értéke adott  $U_{GS}$  és  $U_{DS}$  feszültségeken és adott hőmérsékleten jellemzi a tranzisztor minőségét. Ezt az  $I_{GS}$  **szívárgási gate-áram** fejezi ki, amelynek jellemző értéke pA nagyságrendű.

$$I_{GS} \approx 0,1 + 10 \text{ pA.}$$

A MOSFET lezárt állapotában is folyik egy nagyon kis értékű draináram, amelynek értéke a tranzisztor zárási jóságát jellemzi. Ez az áram az  $I_{D \text{ off}}$  **zárási draináram**, melynek tipikus értékei különböző hőmérsékleten:

$$I_{D \text{ off}} \approx 10 + 500 \text{ pA; } T_j = 25 \text{ }^\circ\text{C} \text{ záróréteg-hőmérsékleten,}$$

$$I_{D \text{ off}} \approx 10 + 100 \text{ pA; } T_j = 125 \text{ }^\circ\text{C} \text{ záróréteg-hőmérsékleten.}$$

A különböző gyártók adatlapjain meg szokták adni a MOSFET-ek drain-source elektródái között fellépő egyenáramú ellenállásait, vezetési és zárási állapotban adott mérési feltételek mellett.

$$R_{DS \text{ on}} \text{ - vezetési irányú ellenállás; tipikus értéke: } R_{DS \text{ on}} \approx 200 \text{ } \Omega;$$

$$R_{DS \text{ off}} \text{ - záróirányú ellenállás; tipikus értéke: } R_{DS \text{ off}} \approx 10^{10} \text{ } \Omega.$$

## Határértékek

A határadatok túllépése a MOSFET-ek maradandó károsodásához vezet. A legfontosabb határértékek a következők:

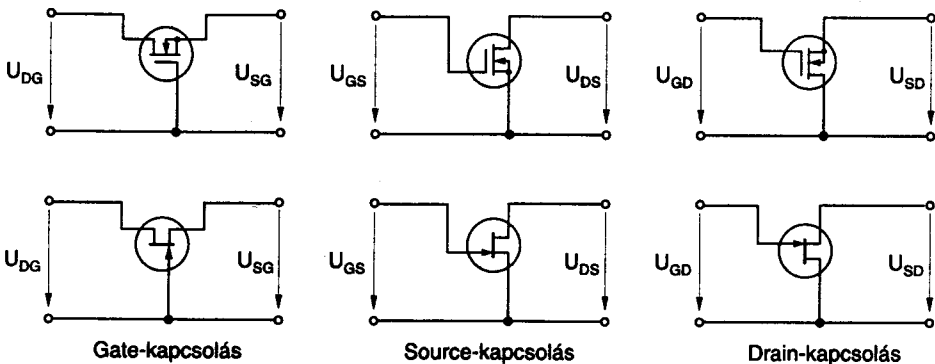
$U_{DS\ max}$	– maximális drain-source feszültség; tipikus értéke:	$U_{DS\ max} \approx 40\ \text{V}$ ,
$U_{GS\ max}$	– maximális gate-source feszültség; tipikus értéke:	$U_{GS\ max} \approx \pm 10\ \text{V}$ ,
$I_{D\ max}$	– maximális drain-áram; tipikus értéke:	$I_{D\ max} \approx 50\ \text{mA}$ ,
$P_{tot\ max}$	– maximális veszteségi teljesítmény; jellemző értéke:	$P_{tot\ max} \approx 300\ \text{mW}$ ,
$T_{j\ max}$	– maximális záróréteg-hőmérséklet; jellemző értéke:	$T_{j\ max} \approx 150\ \text{°C}$ .

A megadott jellemző értékek kiürítéses,  $N$  csatornás MOSFET esetén érvényesek. A MOSFET veszteségi teljesítménye a JFET-tel azonos módon számítható:  $P_{tot} = U_{DS} \cdot I_D$ .

## 5.3. A térvezérlésű tranzisztorok alapkapsolásai

A térvezérlésű tranzisztorokat leggyakrabban erősítőkben, kapcsolófokozatokban és oszcillátorokban alkalmazzák. A kisjelű típusok nagy bemeneti ellenállása, csekély saját zaja és magas határfrekvenciája nagyon kis szintű jelek erősítését teszi lehetővé széles frekvenciatartományban. A teljesítmény MOSFET-ek kapcsolási ideje egy nagyságrenddel kisebb, az azonos teljesítményű bipoláris tranzisztorokénál és a szükséges vezérlőtelijsítmény minimális értéket képvisel. A bipoláris tranzisztoros kapcsolásokhoz hasonlóan a térvezérlésű tranzisztoros áramköröknél is háromféle erősítő-alapkapsolás lehetséges (5.10. ábra):

- **source-kapcsolás**, vagy földelt source-ú kapcsolás; a bipoláris tranzisztor emitterkapcsolásának felel meg,
- **gate-kapcsolás**, vagy földelt gate-ű kapcsolás; a bipoláris tranzisztor báziskapcsolásának felel meg,
- **drainkapcsolás**, vagy földelt drainű kapcsolás; a bipoláris tranzisztorok kollektorkapcsolásának felel meg.



5.10. ábra. A FET-ek alapkapsolásai

A gate-kapcsolást ritkán használják (általában csak magas frekvencián), mivel a nagyon nagy gate-csatorna ellenállás a gyakorlatban nem használható fel előnyösen.

### **Összefoglaló kérdések:**

1. Miért nevezik a térvezérlésű tranzisztorokat unipoláris tranzisztoroknak?
2. Mi az oka a térvezérlésű tranzisztorok elhanyagolható értékű vezérlőteljesítmény-igényének?
3. Milyen elektródái vannak a térvezérlésű tranzisztoroknak?
4. Mik a különbségek a növekményes és az elzáródásos FET típusok között?
5. Miért építhetők egyszerűbb áramkörök a növekményes típusú térvezérlésű tranzisztorokkal?
6. Mit nevezünk elzáródási feszültségnek?
7. Milyen tartományai vannak egy FET karakterisztikájának és melyek a jellemzői?
8. Milyen nagyságrendű a bemeneti ellenállás MOSFET-ek esetén?
9. Hogyan védekeznek a statikus töltések káros hatása ellen FET-ek esetében?
10. Milyen alapkapcsolásokat különböztetünk meg térvezérlésű tranzisztorok esetén?