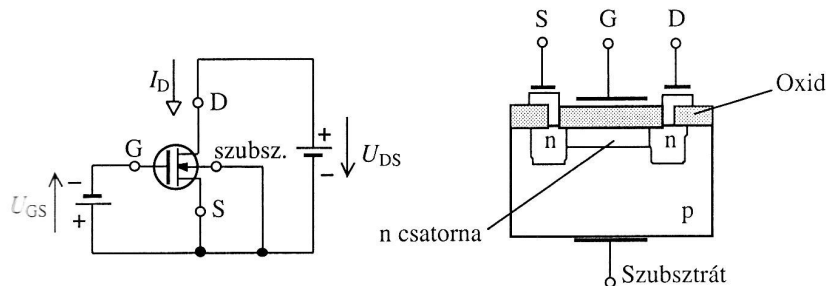


SZIGETELT VEZÉRLŐELEKTRÓDÁS TÉRVEZÉRLÉSŰ TRANZISZTOR (MOSFET)

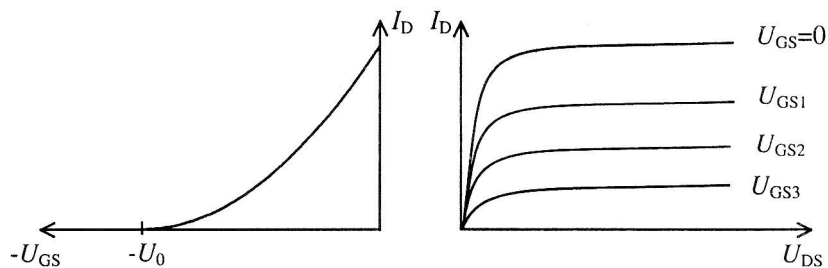
A MOSFET-nek (Metal Oxide Semiconductor, fém-oxid-félvezető) két alaptípusa a kiürítéses és a növekményes MOSFET. Mindkét típusból készítenek n és p csatornás változatokat is.

Egy **kiürítéses n csatornás MOSFET** szerkezetének vázlatát, jelképi jelölését és a működéshez szükséges feszültségeket az alábbi ábra mutatja:



Kiürítéses n csatornás MOSFET

A tranzisztor kialakítása egy p típusú alapkristályon történik Ez a szubsztrát (hordozó). Az ebben kialakított n típusú áramvezető csatornát az igen jó szigetelőként viselkedő szilícium-oxid réteggel elszigetelik a G fémlektrodától. A D-S elektródák közé kapcsolt feszültség hatására az n csatorna szabad elektronjai a pozitív feszültségű Drain elektróda felé mozogva létrehozzák az I_D Drain áramot. Ha az elszigetelt G elektródára negatív feszültséget kapcsolunk, akkor elektronok halmozódnak fel rajta. Ezek mennyisége a feszültség nagyságától függ. A töltésmegosztás miatt a szigetelőréteg másik oldalán lévő n csatornában ugyanannyi pozitív töltés jön létre, mint amennyi negatív töltés halmozódott fel a G elektródán. Az így létrehozott pozitív töltések rekombinálják az n réteg töltéshordozóit, ezért csökken a csatorna szabad töltéshordozóinak száma, vagyis az I_D áram. Az U_{GS} feszültséget növelve egyre több szabad töltéshordozó rekombinálódik, egyre inkább kiürül a csatorna. Innen kapta a kiürítéses MOSFET elnevezést ez a tranzisztor. Megfelelően nagy U_{GS} feszültség mellett a csatornában megszűnnek a szabad töltéshordozók, ezért megszűnik az áram is. Ez a feszültség az U_0 zárófeszültség.

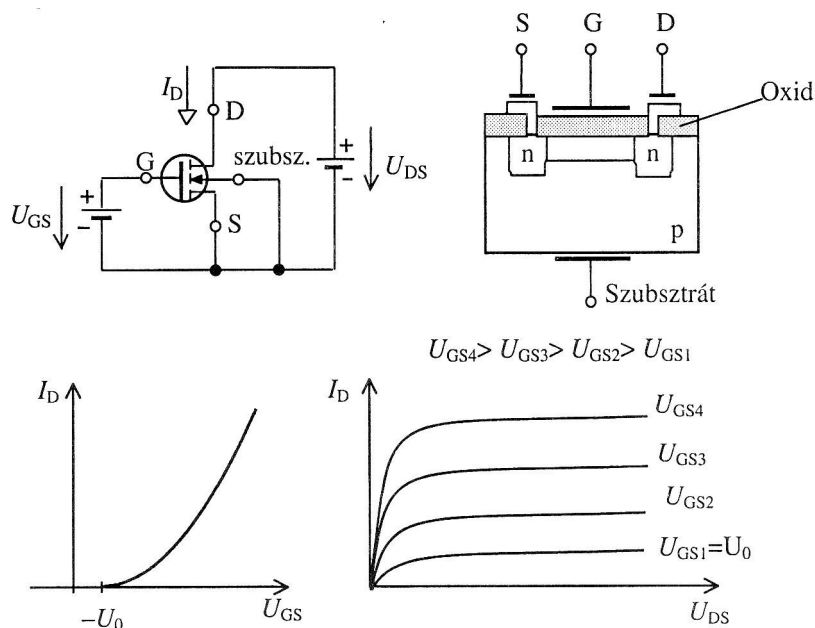


Az N csatornás kiürítéses MOSFET jelleggörbéi.

A p csatornás kiürítéses MOSFET hasonlóképpen működik, de az ellentétesen adalékolt rétegek fordított polaritású feszültségeket igényelnek.

- ☞ Milyen alapkristályon történik az kiürítéses n csatornás MOSFET kialakítása?
- ☞ Milyen réteggel szigetelik el az n csatornát a Gate fémlektrodáitól?
- ☞ Milyen Gate feszültséggel zárható el a Drain áram?

A **növekményes típusú MOSFET**-ek felépítése annyiban különbözik a kiürítésestől, hogy a gyártás során nem hoznak létre áramvezető csatornát a Drain és Source elektródák között. Egy ilyen FET felépítését, jelképi jelölését és a működéshez szükséges feszültségeket szemlélteti az alábbi ábra:



Növekményes MOSFET

A D-S elektródák között úgy jönnek létre a szabad töltéshordozók, hogy a G-re kapcsolt pozitív feszültség miatt, a töltésmegosztás következtében a p rétegben, a szigetelő alatt elektronok halmozódnak fel. Ezek az U_{DS} feszültség hatására elmozdulva létrehozzák az I_D áramot.

☞ Milyen feszültséggel vezérelhető a növekményes MOSFET?

Valamennyi MOSFET változatra igaz, hogy a vezérlőelektródán nem folyik áram, hiszen igen jól el van szigetelve az áramvezető csatornától. Ez azt jelenti, hogy a **MOSFET vezérléséhez nincs szükség teljesítményre**. Valóságos bemeneti ellenállása – a szigetelőréteg szivárgási árama miatt – $G\Omega$ (gigaohm!) nagyságrendű, tehát gyakorlatilag végtelennek tekinthető. A nagy bemeneti ellenállás miatt külön figyelmet érdemel a MOSFET kezelése, ugyanis már az elektródák megérintésekor keletkező elektrosztatikus töltések is tönkretelhetik a tranzisztort. Ennek megakadályozására a gyártók egy ún. rövid zárgyűrűvel ellátva szállítják a MOSFET-eket, ezt csak beforrasztás után szabad eltávolítani.

☞ Folyik-e áram a MOSFET vezérlőelektródáján?

☞ Miért nem szükséges teljesítmény a MOSFET vezérléséhez?

☞ Mekkora a MOSFET bemeneti ellenállása?

☞ Mire kell ügyelni a MOSFET kezelésénél?

Mérési feladat:

COM3LAB – EC2 A MOSFET átviteli jelleggörbéje.

A multimédiás mérőlabor utasításai szerint készítsük el a MOSFET átviteli jelleggörbáját, majd határozzuk meg a meredekség értékét:

☐ Az átviteli jelleggörbét ugyanúgy kell mérni, mint a JFET esetében. Mivel az átviteli jelleggörbe a pozitív szakaszban van, a MOSFET nem önvezető, hanem önzáró.

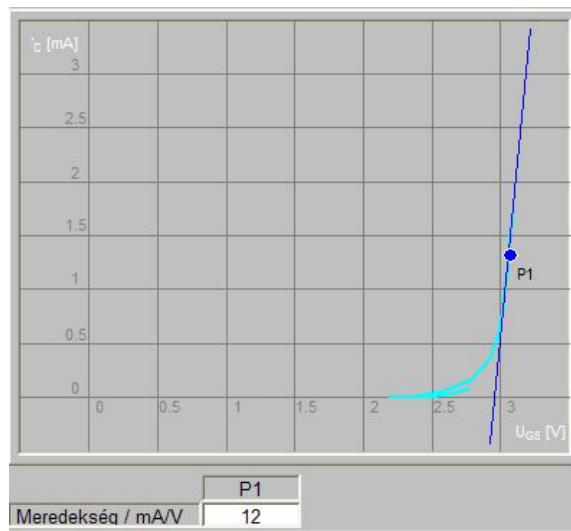
☐ Függvénygenerátor:

DC Offset=5V; V_{pp} =10V; négyszöghullám; f =50Hz

☐ Oszilloszkóp beállítása:

Curve=XY, Y1/div=1V, Y2/div=1V, Y2/att=-1, X/div=1ms, Trigger=+Y2;

TRIG level=-0,25V (!)



- A **meredekség** a JFET-hez hasonlóan, a MOSFET-nél is megadja az erősítés mértékét és leírja a differenciális viszonyt a Drain áram és a Gate-Source feszültség között.
- ☞ Mutassa be a MOSFET vezérlését az átviteli jelleggörbe segítségével!
- ☞ Hogyan határozható meg a MOSFET meredeksége?

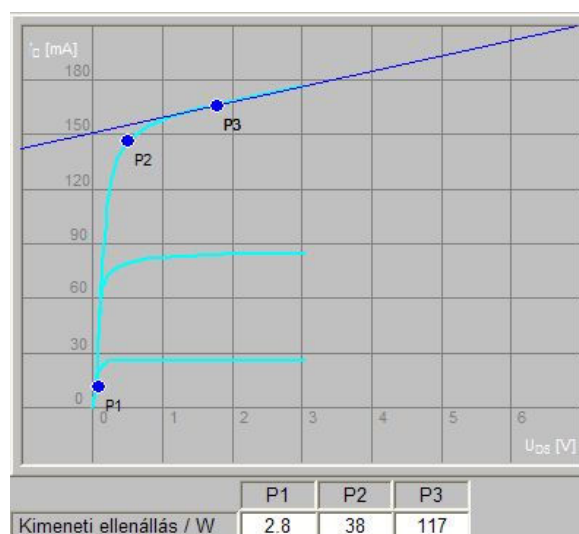
Mérési feladat:

COM3LAB – EC2 A MOSFET kimeneti jelleggörbéje.

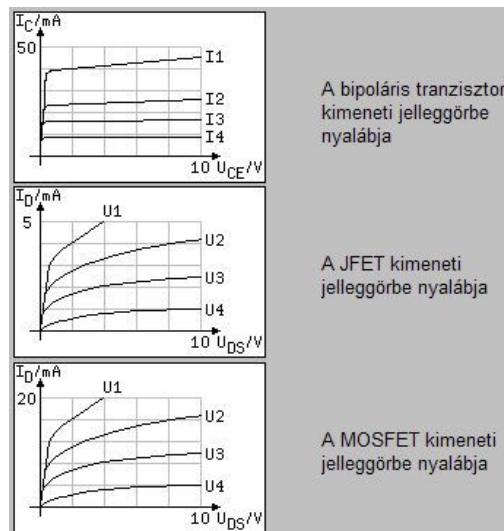
A MOSFET kimeneti jelleggörbe nyalábja leírja a Drain áram és a Drain-Source feszültség közötti viszonyt. A paraméter a Gate-Source feszültség.

A multimédiás mérőlabor utasításai szerint készítsük el a MOSFET kimeneti jelleggörbét, majd határozzuk meg a kimeneti ellenállás értékét:

- A Drain áramot az R3 árammérő ellenálláson mérjük. A Drain-Source feszültséget közvetlenül lehet mérni a Drain és a Source között.
- Függvénygenerátor:
DC Offset=5V; $V_{pp}=10V$; háromszögjel; $f=50Hz$
- Oszilloszkóp beállítása:
Curve=XY, Y1/div=2V, Y2/div=2V, Y1/att=-1, X/div=1ms, Trigger=+Y1;



Kimeneti ellenállás differenciális viszony a Drain-Source feszültség és a Drain áram között. Ez megfelel a jelleggörbe emelkedése reciprok értékének.



- ☐ A kimeneti jelleggörbe nyalábokból megállapítható, hogy a MOSFET a JFET-nél magasabb terhelő áramok (Drain áramok) vezérlésére is alkalmas, de a vezérelhető terhelőáram még mindig alacsonyabb, mint a bipoláris tranzisztoroknál.
- ☞ Mit mutat meg a MOSFET kimeneti jelleggörbe nyalábja?
- ☞ Milyen hatással van a Gate feszültség a jelleggörbére?
- ☞ Hogyan határozható meg a kimeneti ellenállás értéke?
- ☞ Hasonlítsuk össze a bipoláris tranzisztor, a JFET és MOSFET jellemzőit a kimeneti jelleggörbe nyaláb segítségével!

Mérési feladat:

COM3LAB – EC2 A MOSFET mint kapcsoló.

Mivel a MOSFET nem önvezető, ezáltal a vezérlési szakasz a pozitív tartományban van, a vezérlése egyszerűbb, mint a JFET-é.

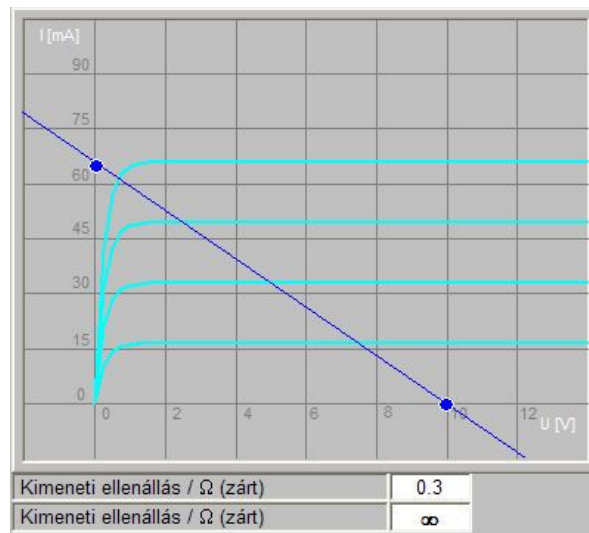
MOSFET mint időkapcsoló:

- ☐ A kapcsolási rajzot követve megállapítható, hogy a C1 kondenzátor feltöltődése után, nagyon lassan sül ki a MOSFET nagy értékű bemeneti ellenállásán. A kisülés következtében csökkenő Gate-Source feszültség miatt a MOSFET zárni fog.
- ☐ A magas bemeneti ellenállás miatt elegendő kisebb mértékű kapacitás is a hosszabb kapcsolási idő eléréséhez.
- ☐ Kondenzátor R1 ellenállásra csatlakoztatása után feltöltődik, a lámpa világít. A vezeték eltávolítását követően a Gate-en keresztül a magas bemeneti ellenállás miatt a kondenzátor csak nagyon lassan sül ki.

MOSFET alacsony ellenállású terhelésnél:

- ☐ A MOSFET vezéreljen egy izzólámpát. Az izzólámpa a maga 16Ω -jával igen kis értékűnek számít.

A Drain áramot és a Drain-Source feszültséget záró és vezető MOSFET-él is meg kell mérni. Ezek az értékek lesznek a munkapontok. ($P_{\text{zárt}}$: kondenzátor \rightarrow R2; P_{nyitott} : kondenzátor \rightarrow föld)



- ☐ A MOSFET alkalmasabb a kis ellenállású terhelésekhez, mint a JFET. Ez a tulajdonága és az önzárás teszi alkalmassá, hogy belőle integrált áramköröket építsenek.
- ☐ Ezt a technikát nevezik MOS illetve CMOS technikának és igen nagy elemsűrűséget érnek el vele.
- ☞ Hogyan állítható be az idővezérlés kapcsolási ideje?
- ☞ Miért elegendő kisebb kapacitás a hosszabb kapcsolási idő eléréséhez?
- ☞ Miért alkalmas a MOS technika integrált áramkörök gyártására?

Ellenőrző kérdések

- ☞ Milyen alapkristályon történik az kiürítéses n csatornás MOSFET kialakítása?
- ☞ Milyen réteggel szigetelik el az n csatornát a Gate fémelektrodáitól?
- ☞ Milyen Gate feszültséggel zárható el a Drain áram?
- ☞ Folyik-e áram a MOSFET vezérlőelektrodáján?
- ☞ Miért nem szükséges teljesítmény a MOSFET vezérléséhez?
- ☞ Mekkora a MOSFET bemeneti ellenállása?
- ☞ Mire kell ügyelni a MOSFET kezelésénél?
- ☞ Mutassa be a MOSFET vezérlését az átviteli jelleggörbe segítségével!
- ☞ Hogyan határozható meg a MOSFET meredeksége?
- ☞ Mit mutat meg a MOSFET kimeneti jelleggörbe nyalábja?
- ☞ Milyen hatással van a Gate feszültség a jelleggörbére?
- ☞ Hogyan határozható meg a kimeneti ellenállás értéke?
- ☞ Hasonlítsuk össze a bipoláris tranzisztor, a JFET és MOSFET jellemzőit a kimeneti jelleggörbe nyaláb segítségével!
- ☞ Hogyan állítható be az idővezérlés kapcsolási ideje?
- ☞ Miért elegendő kisebb kapacitás a hosszabb kapcsolási idő eléréséhez?
- ☞ Miért alkalmas a MOS technika integrált áramkörök gyártására?

- 1) Jelölje meg a MOSFET alaptípusait! 2 p.
- Záróréteges
 - Növekményes (I)
 - Bipoláris
 - Kiürítéses (I)
- 2) A MOSFET tranzisztor kialakítása egy p típusú alapkristályon történik. Ez a **szubsztrát** (hordozó). Az ebben kialakított n típusú **áramvezető** csatornát az igen jó szigetelőként viselkedő **szilícium-oxid** réteggel elszigetelik a G fémelektrodától. 3 p.
- 3) Jelölje **I** betűvel az igaz és **H** betűvel a hamis megállapításokat a kiürítéses n csatornás MOSFET működésére vonatkozóan! 4 p.
-A D-S elektródák közé kapcsolt feszültség hatására az n csatorna szabad elektronjai a pozitív feszültségű Drain elektróda felé mozogva létrehozzák az I_D Drain áramot. (I)
 -Ha az elszigetelt G elektródára pozitív feszültséget kapcsolunk, akkor elektronok halmozódnak fel rajta. (H)
 -Az U_{GS} feszültséget növelve egyre több szabad töltéshordozó rekombinálódik, egyre inkább kiürül a csatorna. (I)
 -Megfelelően nagy U_{GS} feszültség mellett a csatornában felhalmozódnak a szabad töltéshordozók, ezért megszűnik az áram is. Ez a feszültség az U_0 zárófeszültség. (H)
- 4) Miért nem szükséges teljesítmény a MOSFET vezérléséhez? 2 p.
- A vezérlőelektrodáján nem folyik áram. (I)
 - Bementi ellenállása gyakorlatilag végtelennek tekinthető. (I)
 - Bementi ellenállása néhány ohm.
 - A vezérlőelektrodáján az I_D -vel arányos áram folyik.
- 5) Mire kell ügyelni a MOSFET kezelésénél? 1 p.
- A kis bementi ellenállás miatt az elektródák megérintésekor keletkező elektrosztatikus töltések is tönkretelhetik a tranzisztort.
 - A nagy bementi ellenállás miatt az elektródák megérintésekor keletkező elektrosztatikus töltések is tönkretelhetik a tranzisztort. (I)
 - A MOSFET elektrosztatikus töltésre érzéketlen, mert vezérlőelektrodáin nagy áram folyik.
- 6) Mit határoz meg a MOSFET meredeksége? 1 p.
- A bementi ellenállás értékét
 - Az erősítés mértékét. (I)
 - A kimeneti ellenállás értékét
 - A be- és kimeneti ellenállás arányát
- 7) A MOSFET kimeneti ellenállása a **Drain-Source** feszültség és a Drain áram változás hányadosa. Ez megfelel a jelleggörbe emelkedése **reciprok** értékének. 2 p.

- 8) Jelölje **I** betűvel az igaz, **H** betűvel a hamis állítást pontozott helyeken! 4 p.
- a)A MOSFET a JFET-nél magasabb terhelő áramok (Drain áramok) vezérlésére is alkalmas. **(I)**
 - b)A MOSFET-tel vezérelhető terhelőáram alacsonyabb, mint a bipoláris tranzisztoroknál. **(I)**
 - c)A MOSFET használható feszültséggel vezérelt ellenállásként. Tipikus csatorna-ellenállása a Drain- és a Source elektródák között: 100-800Ω. **(I)**
 - d)A MOSFET a JFET-nél alacsonyabb terhelő áramok (Drain áramok) vezérlésére alkalmas. **(H)**
- 9) Jelölje a MOSFET idővezérlés kapcsolási idejére vonatkozó helyes megállapításokat? 2 p.
- a) A MOSFET magas bemeneti ellenállása miatt elegendő kisebb értékű kapacitás is a hosszabb kapcsolási idő eléréséhez. **(I)**
 - b) A MOSFET magas bemeneti ellenállása miatt nagyobb értékű kapacitás szükséges a hosszabb kapcsolási idő eléréséhez.
 - c) A kondenzátor feltöltődése után nagyon lassan sül ki a MOSFET nagy értékű bemeneti ellenállásán. **(I)**
 - d) A kondenzátor feltöltődése után nagyon gyorsan sül ki a MOSFET nagy értékű bemeneti ellenállásán.
- 10) A MOSFET **önzáró** tulajdonsága és kis ellenállású **terhelések** kapcsolására való alkalmassága lehetővé teszi, hogy belőle **integrált** áramköröket építsenek. 3 p.