

Elektronika

XIII.
JFET, MOSFET
Tirisztor, Triac, ...

13.1. Tervezélrű tranzisztorok

FET

- FET field effect transistor
- unipoláris (csak egy típusú töltéshordozó)
- feszültség által vezérelt, a vezérlő áram elhanyagolható !! → kisebb fogyasztás
- három kivezetésű eszköz →
 - G gate, vezérlés (mint a bázis)
 - S source (mint az emitter)
 - D drain (mint a kollektor)

Két alap típusa

JFET

- záró réteges FET
(junction FET)
- két típusa van →
 - N csatornás JFET
 - P csatornás JFET

MOSFET

- szigetelt kapu elektródás FET
(metal oxid semiconductor FET)
- két altípusa van →
 - kiürítéses MOSFET
 - növekményes MOSFET
- mindkét altípus lehet
 - N csatornás, vagy P csatornás

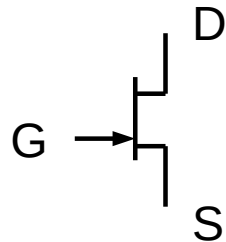
13.2. JFET

1. JFET felépítése

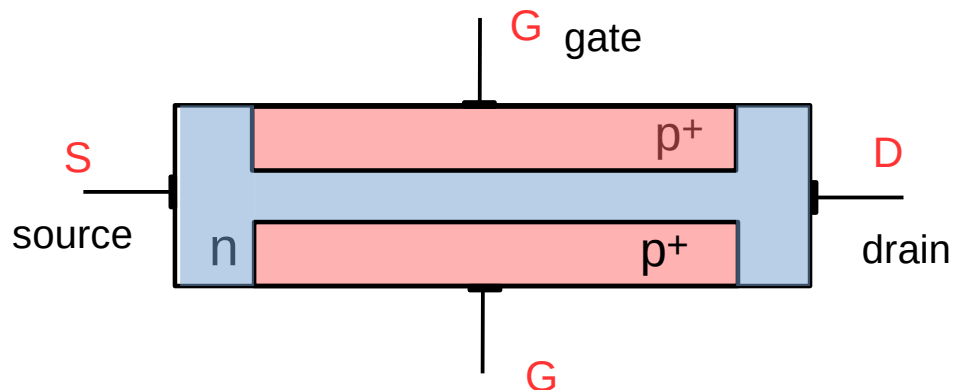
- junction field effect transistor → záró réteges térvezérlésű tranzisztor
- záró réteges → záró irányban kell előfeszíteni a P-N átmenetét → $I_G \approx 0$!!
- a záró G-S feszültség változtatásával lehet vezérelni S és D között folyó áram nagyságát
(U_{GS} feszültség nő → kiürített réteg szélessége nő → I_D áram csökken)
- lehet N csatornás, vagy P csatornás

N csatornás JFET

rajzjele

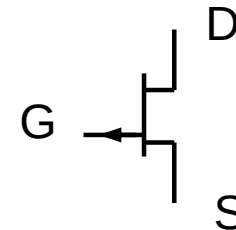


felépítése

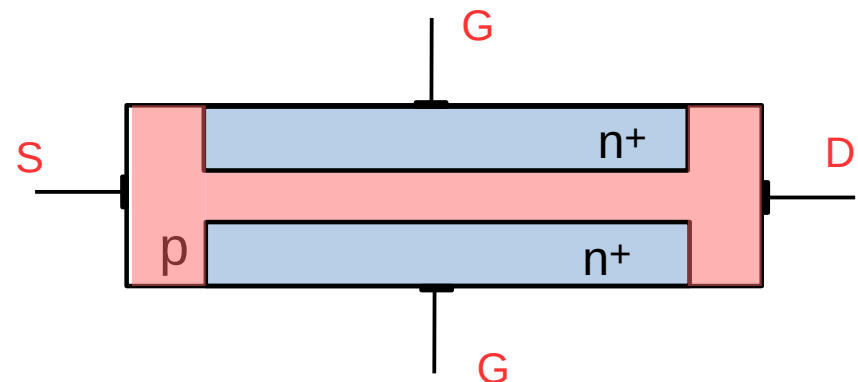


P csatornás JFET

rajzjele



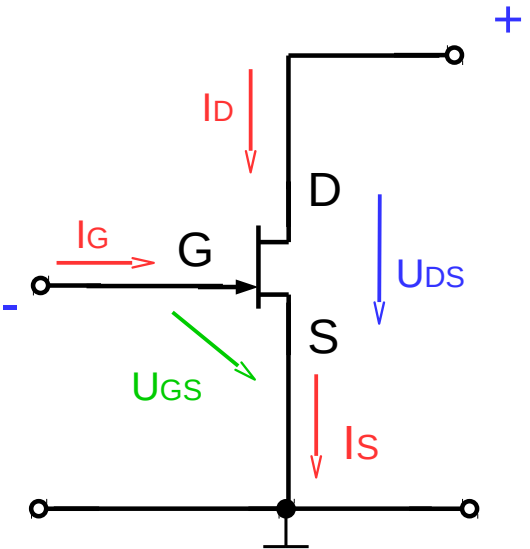
felépítése



13.2. JFET

2. JFET karakterisztikák

- a JFET áramai és feszültségei közötti összefüggéseket írják le (U_{GS} I_G I_D U_{DS} I_S)
- mint négyfólyust vizsgáljuk, → egyik kivezetés közös
- közös source kapcsolás (n csatornás FET) →



Bemeneti karakterisztika

- nincs, mert a $I_G \approx 0$!!
- **differenciális bemeneti ellenállás** → $r_{GS} \approx \text{néhány } G\Omega$

Kimeneti karakterisztika

U_{DS} és I_D közötti kapcsolatot mutatja

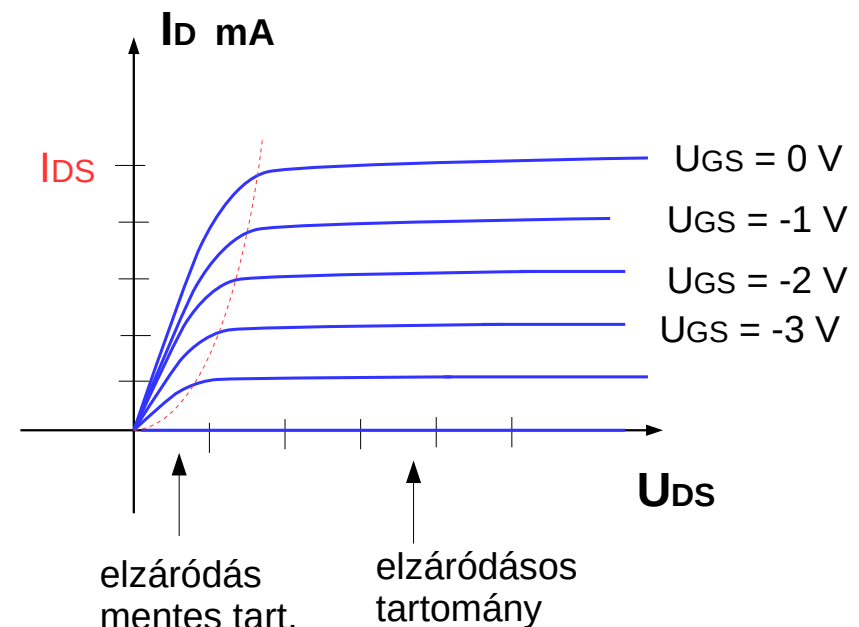
- elzáródásmentes tartomány (ha $U_{DS} < U_{GS} - U_p$)
- $U_{DS} - I_D$ között ~ lineáris kapcsolatot
- **elzáródásos tartomány** (ha $U_{DS} > U_{GS} - U_p$)
- I_D csak kicsit függ U_{DS} értékétől !!
- I_D ilyenkor U_{GS} értékétől függ

differenciális kimeneti ellenállás

→ $r_{DS} = \Delta U_{DS} / \Delta I_D$ ha U_{GS} állandó

$$r_{DS} \approx 80 - 100 \text{ k}\Omega$$

$1/r_{DS} \rightarrow y_{22s}$ paraméter !!



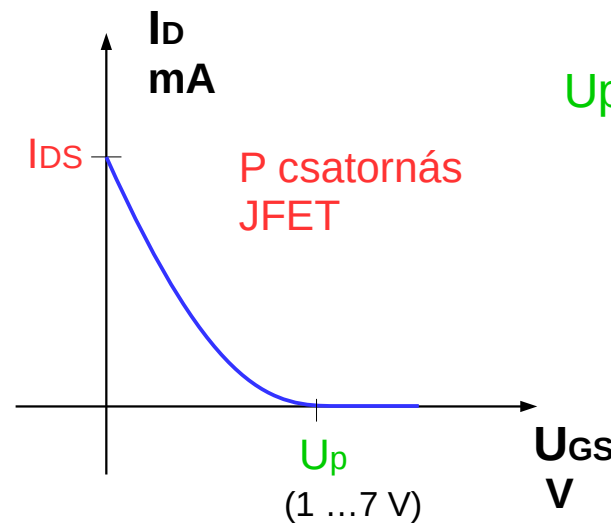
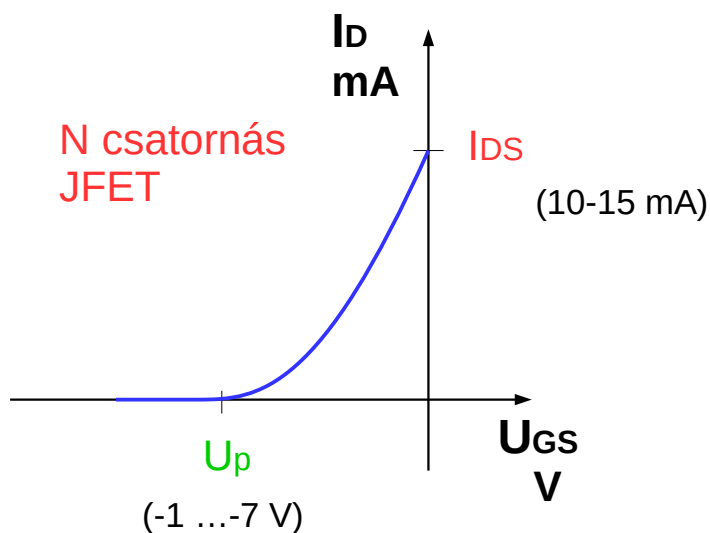
13.2. JFET

2. JFET karakterisztikák

Transzfer karakterisztika

- U_{GS} és I_D közötti kapcsolatot mutatja (elzáródásos tartományban)

ha $U_{GS} = 0$ akkor folyik a legnagyobb I_D áram (I_{DS})



U_p feszültséget elérve (lezárási feszültség) I_D áram már nagyon kicsi lesz \rightarrow a JFET lezár

- Az áram az alábbi közelítő képlettel számítható (elzáródásos tartományban):

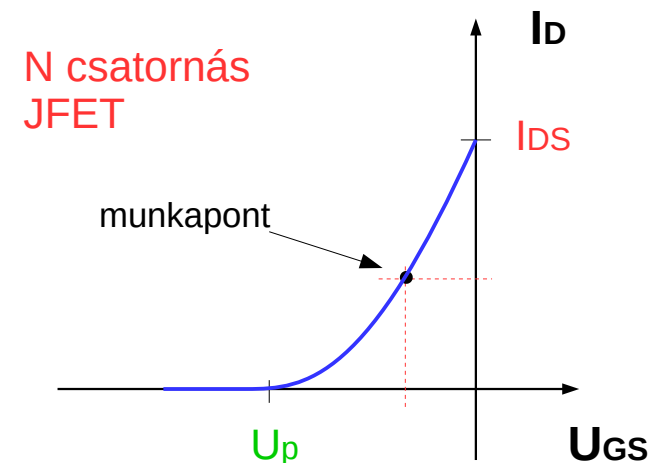
$$I_D = I_{DS} * (1 - U_{GS} / U_p)^2$$

- JFET meredeksége (M munkapontban)

$\rightarrow S = \Delta I_D / \Delta U_{GS}$ ha U_{DS} állandó

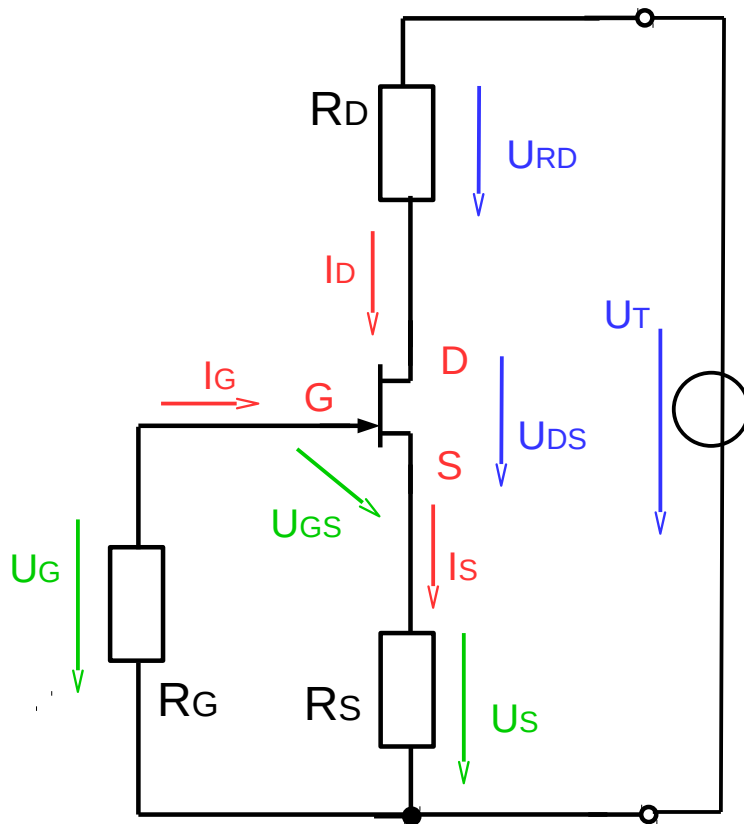
$$S \approx 3 - 10 \text{ mA / V}$$

$S \rightarrow y_{21s}$ paraméter !!



13.3. JFET munkapont beállítása

Számítások JFET-el



JFET összefüggései:

$$I_D = I_S$$

$$I_G \approx 0 !!$$

$$I_D = I_{DS} * (1 - U_{GS} / U_p)^2$$

$$U_G \approx 0 !!$$

Hurok törvény (jobb oldali hurok):

$$U_T - U_S - U_{DS} - U_{RD} = 0$$

$$\rightarrow U_T = U_S + U_{DS} + U_{RD}$$

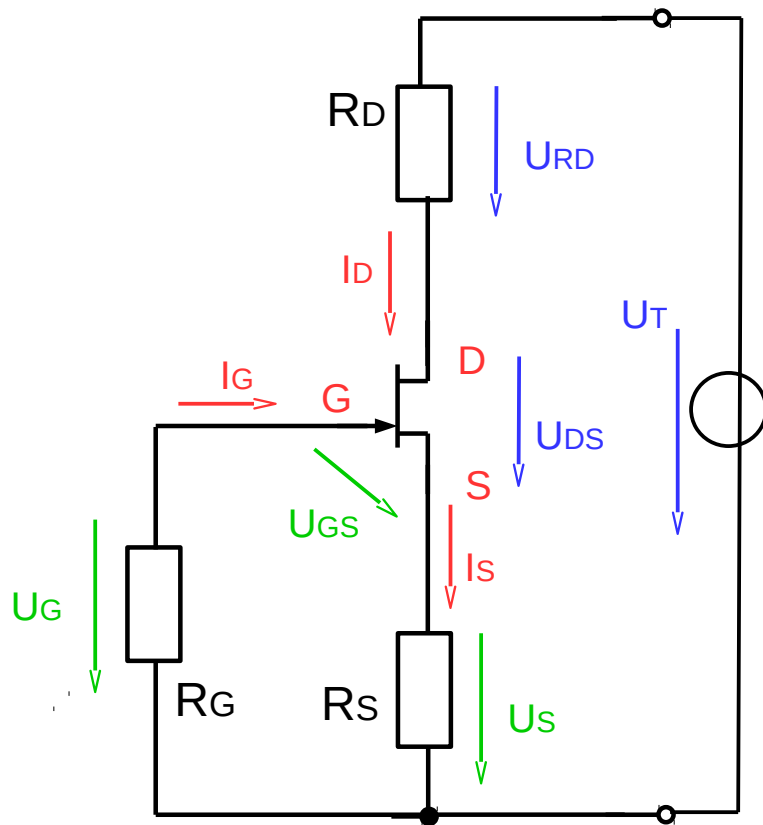
Hurok törvény (bal oldali hurok):

$$U_G - U_S - U_{GS} = 0$$

$$\rightarrow U_S = -U_{GS}$$

13.3. JFET munkapont beállítása

1. mintafeladat:



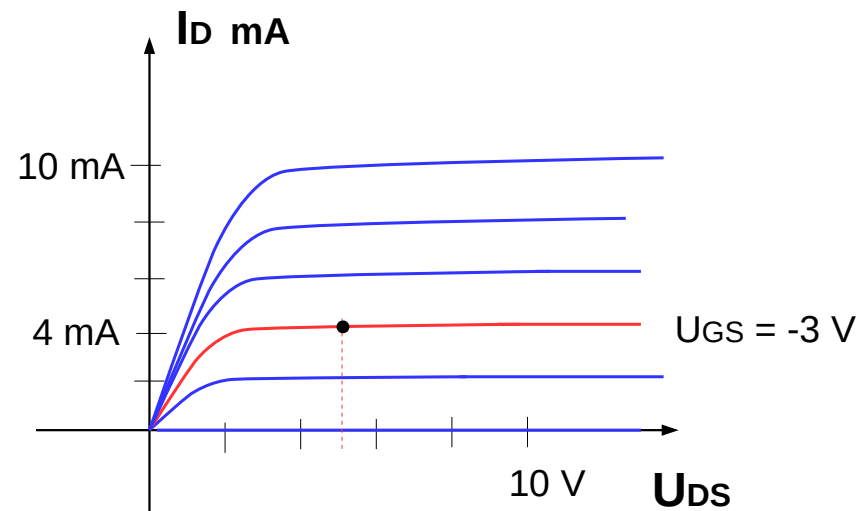
$$U_T = 12\text{V}$$

$$I_{D0} = 4\text{mA}$$

$$U_{GS0} = -3\text{V}$$

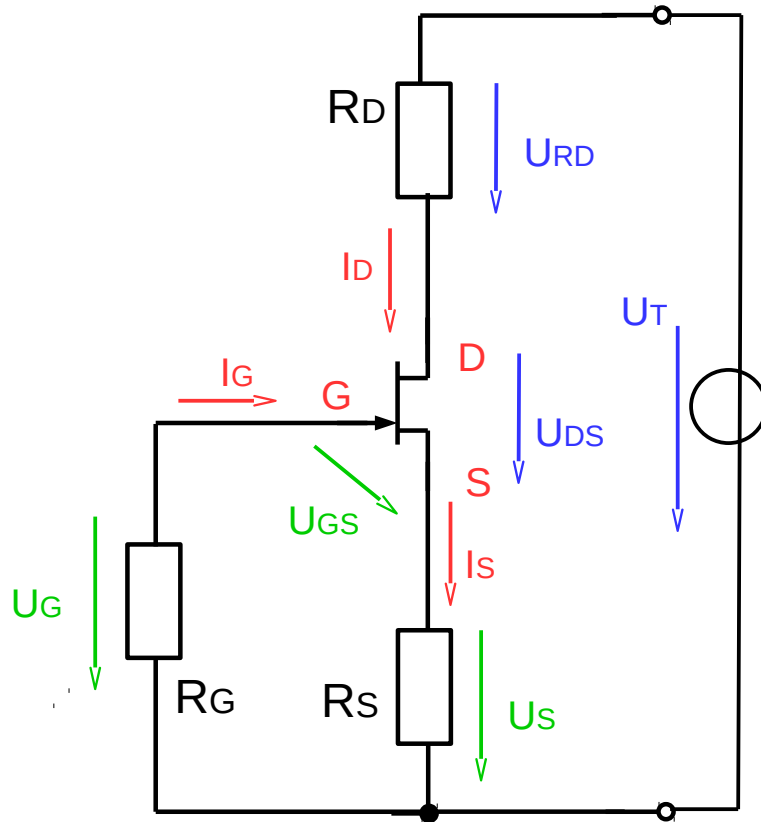
$$U_{DS0} = 5\text{V}$$

Számoljuk ki a hiányzó feszültségek, áramok értékeit, és a szükséges ellenállásokat !



13.3. JFET munkapont beállítása

1. mintafeladat, megoldás:



R_G értéke majdnem tetszőleges lehet, csak ne legyen túl nagy !
max. néhány $M\Omega$

$$U_T = 12V$$

$$I_{D0} = 4mA$$

$$U_{GS0} = -3V$$

$$U_{DS0} = 5V$$

Számoljuk ki a hiányzó feszültségek, áramok értékeit, és a szükséges ellenállásokat !

Megoldás

JFET

$$I_{D0} = I_{S0} = 4 \text{ mA}$$

$$I_{G0} = 0$$

Bal oldali hurok

$$U_G = 0 !!$$

$$U_S = -U_{GS0} = 3 \text{ V}$$

$$R_S = U_S / I_{S0} = 3 \text{ V} / 4 \text{ mA} = 0,75 \text{ k}\Omega$$

Jobb oldali hurok

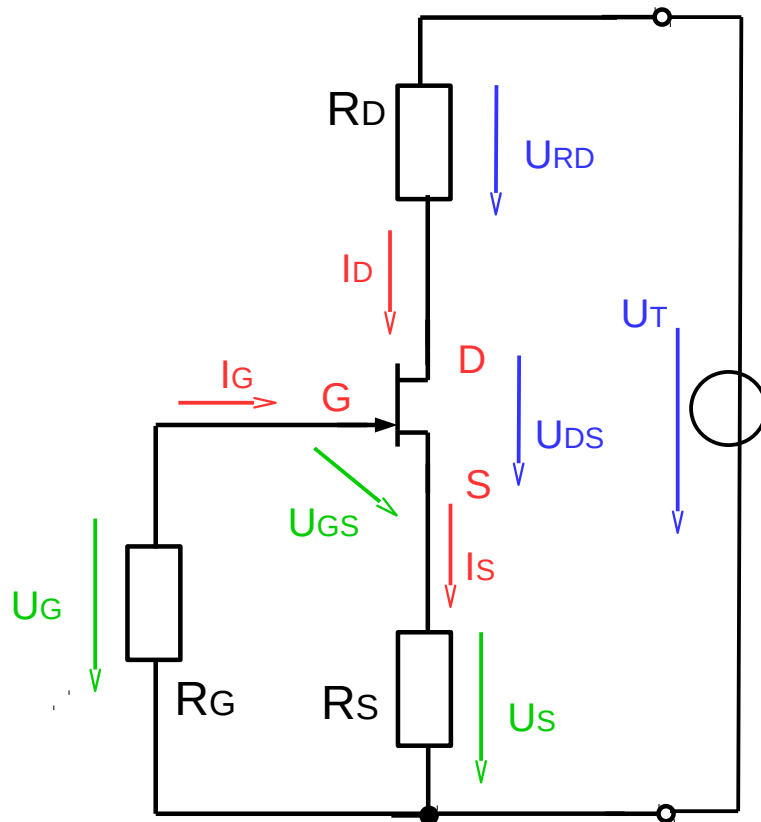
$$U_T = U_S + U_{DS0} + U_{RD}$$

$$U_{RD} = U_T - U_S - U_{DS0} = 12 - 3 - 5 \text{ V} = 4 \text{ V}$$

$$R_D = U_{RD} / I_{D0} = 4 \text{ V} / 4 \text{ mA} = 1 \text{ k}\Omega$$

13.3. JFET munkapont beállítása

2. mintafeladat:



$$U_T = 12V$$

$$I_{D0} = 2,5mA$$

$$I_{DS} = 10mA$$

$$U_p = -4V$$

$$U_{DS0} = 6V$$

Számoljuk ki a hiányzó feszültségek, áramok értékeit, és a szükséges ellenállásokat !

Megoldás

JFET

$$I_{D0} = I_{S0} = 2,5mA$$

$$I_{G0} = 0$$

$$I_D = I_{DS} * (1 - U_{GS} / U_p)^2$$

$$U_{GS0} = U_p * (1 - \sqrt{I_{D0} / I_{DS}}) = -4V * (1 - \sqrt{2,5 / 10})$$

$$U_{GS0} = -2V$$

Bal oldali hurok

$$U_G = 0 !!$$

$$U_S = -U_{GS0} = 2V$$

$$R_S = U_S / I_{S0} = 2V / 2,5mA = 0,8k\Omega$$

és

$$R_G \text{ legyen } 1M\Omega$$

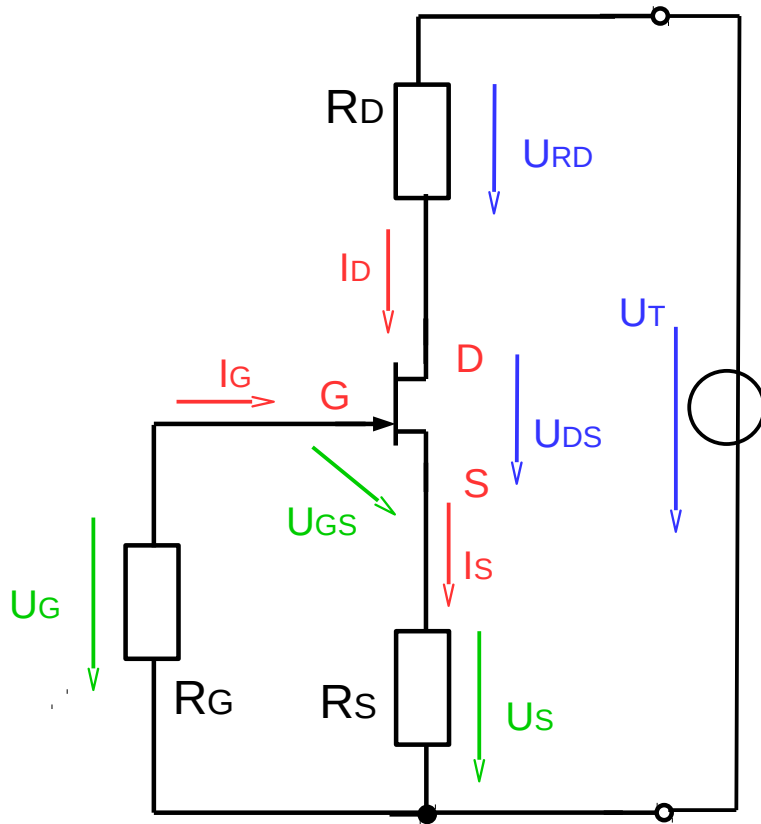
Jobb oldali hurok

$$U_T = U_S + U_{DS0} + U_{RD}$$

$$U_{RD} = U_T - U_S - U_{DS0} = 12 - 2 - 6V = 4V$$

$$R_D = U_{RD} / I_{D0} = 4V / 2,5mA = 1,6k\Omega$$

13.4. Feladatok



1. feladat:

$$U_T = 15V$$

$$I_{D0} = 3mA$$

$$U_S = 4V \quad U_{DS0} = 6V$$

Számoljuk ki a hiányzó feszültségek, áramok értékeit, és a szükséges ellenállásokat !

2. feladat:

$$U_T = 12V$$

$$U_{GS0} = -3V$$

$$I_{DS} = 12mA$$

$$U_p = -6V \quad U_{DS0} = 5V$$

Számoljuk ki a hiányzó feszültségek, áramok értékeit, és a szükséges ellenállásokat !

13.5. MOSFET

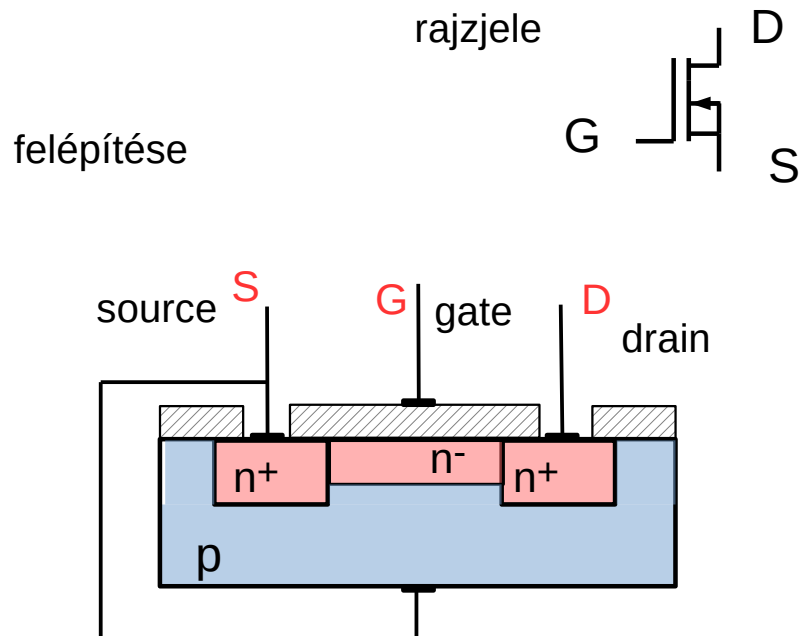
1. MOSFET felépítése

- metal oxid semiconductor FET → szigetelt kapu elektródás térvezérlésű tranzisztor
A gate teljesen el van szigetelve (oxid réteg)
- két altípusa van → a kiürítéses és a növekményes MOSFET

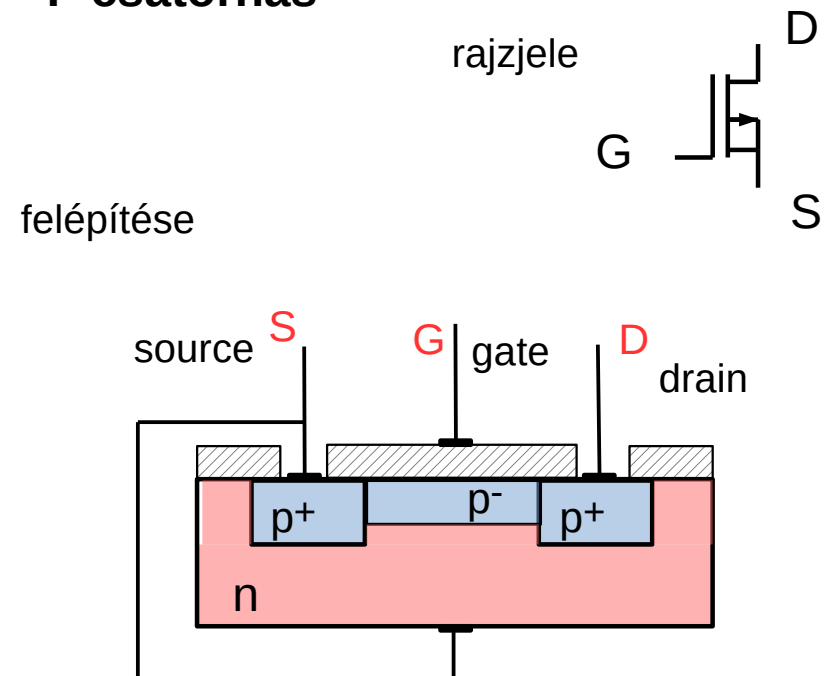
kiürítéses MOSFET (önvezető)

- lehet N csatornás, vagy P csatornás
- önvezető → ha $U_{GS} = 0$ akkor vezet !! (hasonló működésű mint a JFET)
- a gate feszültség változtatásával lehet vezérelni S és D között folyó áram nagyságát

N csatornás



P csatornás



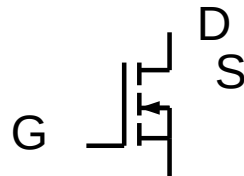
13.5. MOSFET

növekményes MOSFET

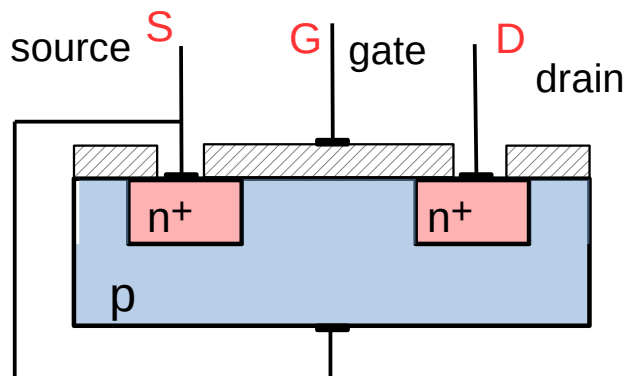
- önzáró → ha $U_{GS} = 0$ akkor nem vezet →
kell egy minimális nyitó feszültség (mint a bipoláris tranzisztornál)
- a gate feszültség változtatásával lehet vezérelni S és D között folyó áram nagyságát

N csatornás

rajzjele

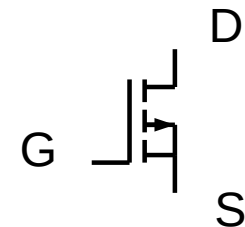


felépítése

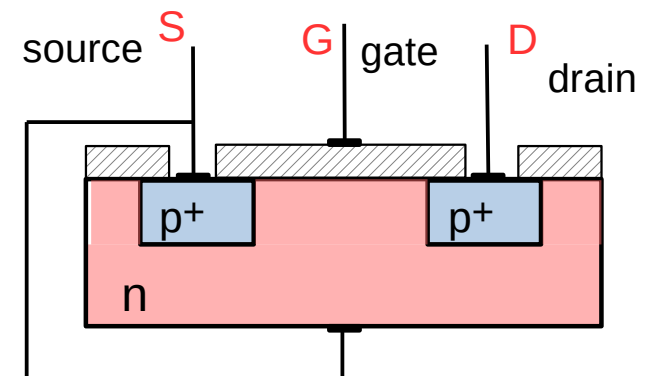


P csatornás

rajzjele



felépítése



13.5. MOSFET

2. kiürítékes MOSFET karakterisztikák

Transzfer karakterisztika

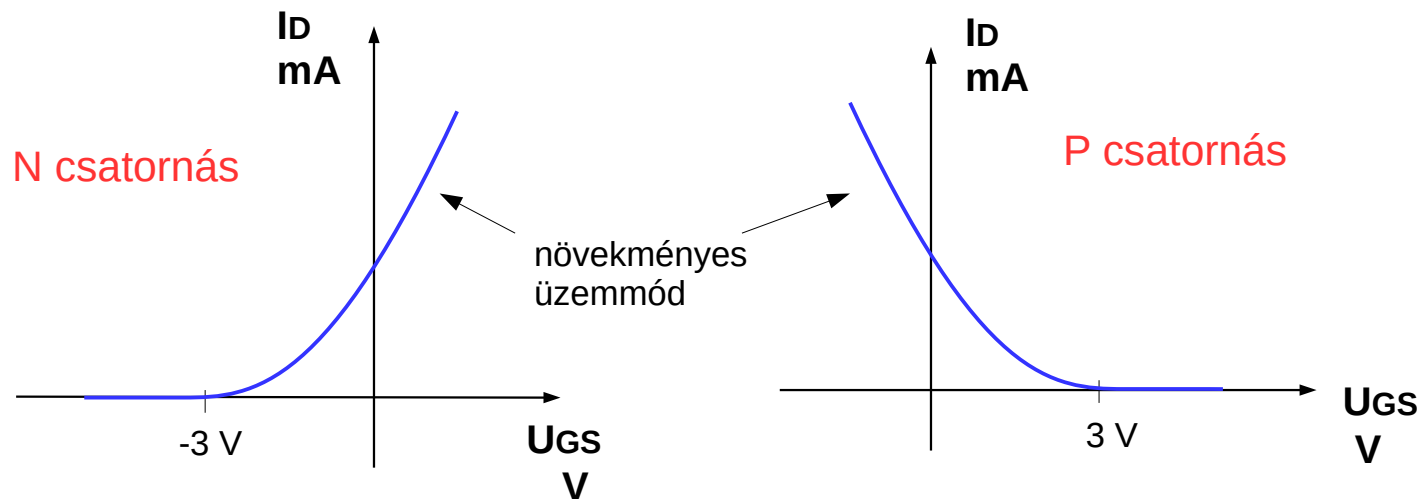
ha $U_{GS} = 0$ akkor folyik a legnagyobb I_D áram (I_{DS})

meredekség

$$S = \Delta I_D / \Delta U_{GS}$$

ha U_{DS} állandó

$$S \approx 5 - 10 \text{ mA/V}$$



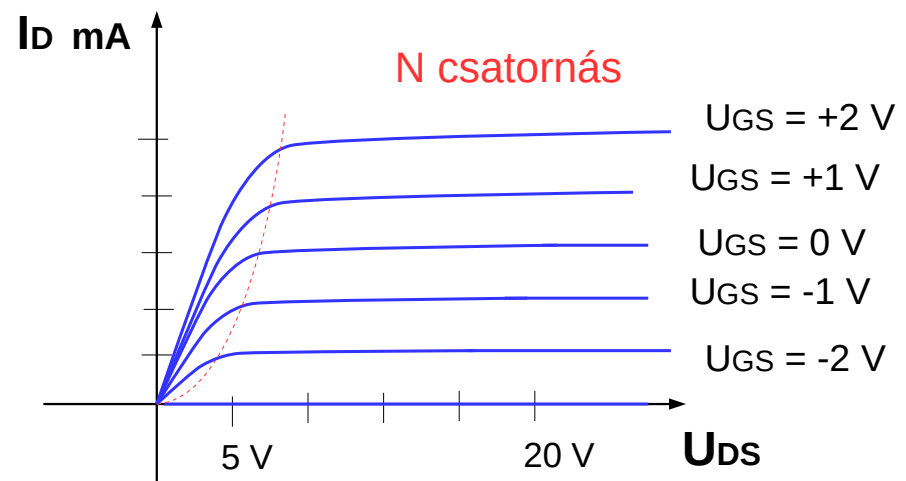
Kimeneti karakterisztika

**differentiális
kimeneti ellenállás**

$$r_{DS} = \Delta U_{DS} / \Delta I_D$$

ha U_{GS} állandó

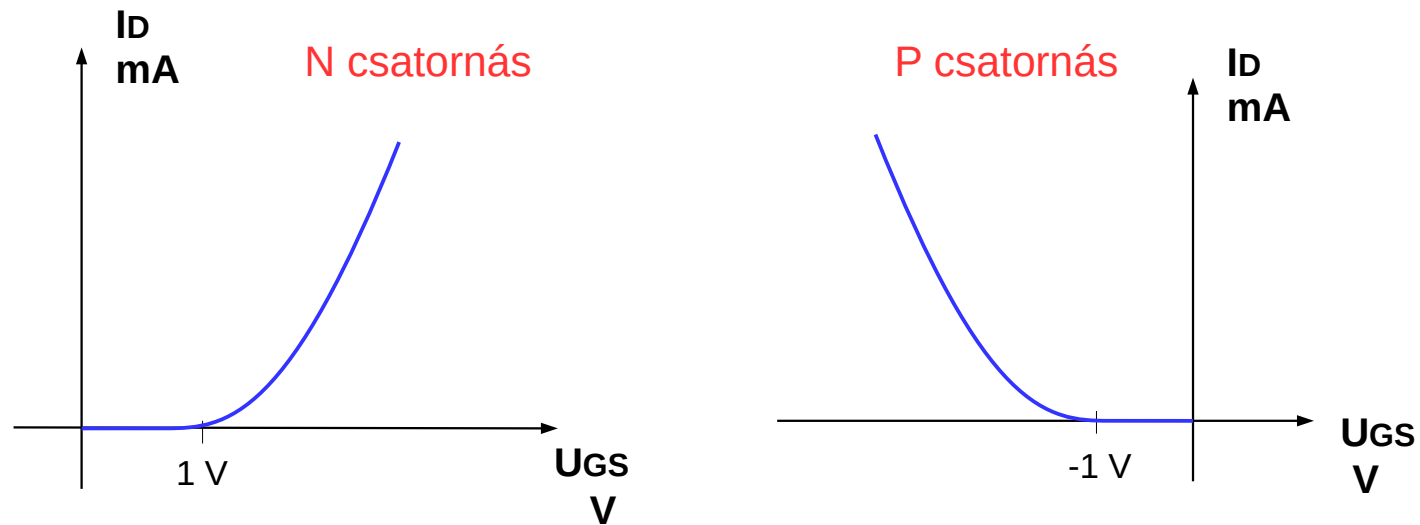
$$r_{DS} \approx 10 - 50 \text{ k}\Omega$$



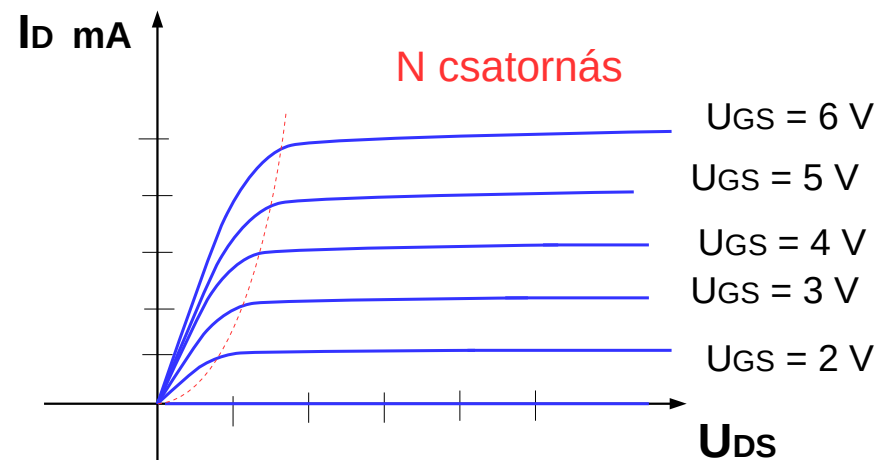
13.5. MOSFET

3. növekményes MOSFET karakterisztikák

Transzfer karakterisztika

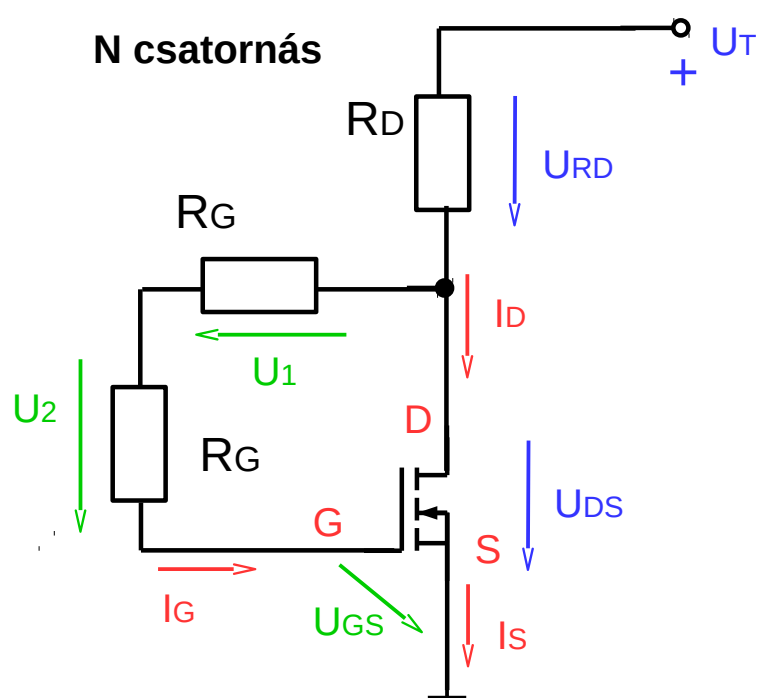


Kimeneti karakterisztika



13.6. MOSFET munkapont beállítás

Növekményes MOSFET munkapontbeállítása



MOSFET
összefüggései:

$$I_D = I_S$$

$$I_G \approx 0 !!$$

$$U_1 \approx U_2 \approx 0 !!$$

Jobb oldali hurok:

$$U_T - U_{DS} - U_{RD} = 0 \rightarrow U_T = U_{DS} + U_{RD}$$

bal oldali hurok:

$$U_1 + U_2 + U_{GS} - U_{DS} = 0 \rightarrow U_{GS} = U_{DS}$$

1. mintafeladat

$$U_T = 10V$$

$$I_{D0} = 6mA$$

$$U_{GS0} = 4V$$

Számoljuk ki a hiányzó feszültségek, áramok értékeit, és a szükséges ellenállásokat !

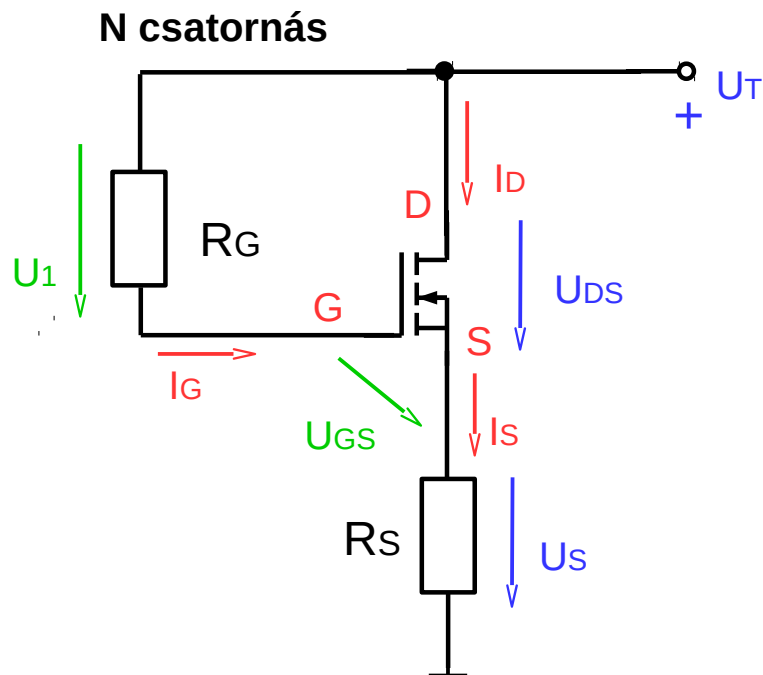
$$U_{DS0} = U_{GS0} = 4V$$

$$U_{RD} = U_T - U_{DS0} = 10 - 4V = 6V$$

$$R_D = U_{RD} / I_{D0} = 6V / 6mA = 1k\Omega$$

13.6. MOSFET munkapont beállítás

Növekményes MOSFET munkapontbeállítása 2.



MOSFET
összefüggései:

$$I_D = I_S$$

$$I_G \approx 0 !!$$

$$U_1 \approx 0 !!$$

Jobb oldali hurok:

$$U_T - U_{DS} - U_S = 0 \rightarrow U_T = U_{DS} + U_S$$

nagy hurok:

$$U_1 + U_{GS} + U_S - U_T = 0 \rightarrow U_T = U_{GS} + U_S$$
$$\rightarrow U_{GS} = U_{DS}$$

2. mintafeladat

$$U_T = 10V$$

$$I_{D0} = 6mA$$

$$U_{GS0} = 4V$$

Számoljuk ki a hiányzó feszültségek, áramok értékeit, és a szükséges ellenállásokat !

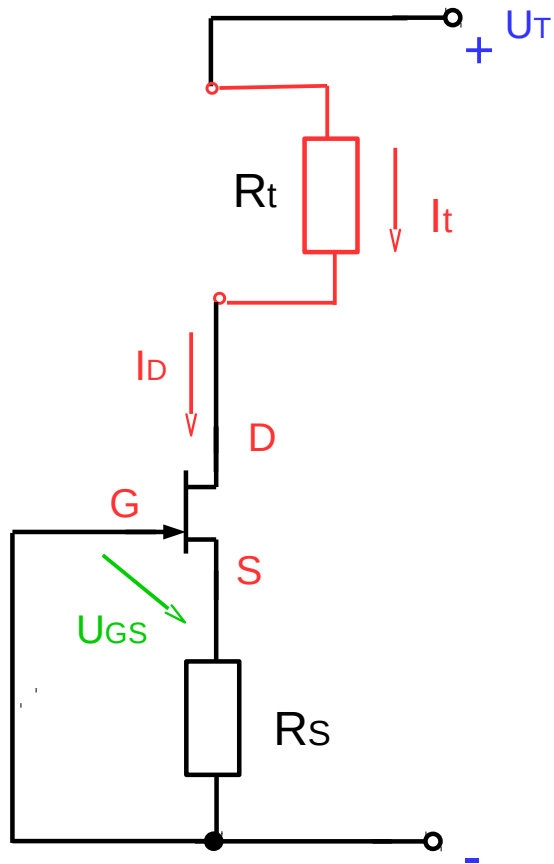
$$U_{DS0} = U_{GS0} = 4V$$

$$U_S = U_T - U_{DS0} = 10 - 4V = 6V$$

$$R_S = U_S / I_{D0} = 6V / 6mA = 1k\Omega$$

13.7. Speciális kapcsolások

1. áramgenerátor FET-el



$$I_t = I_D = - U_{GS} / R_S$$

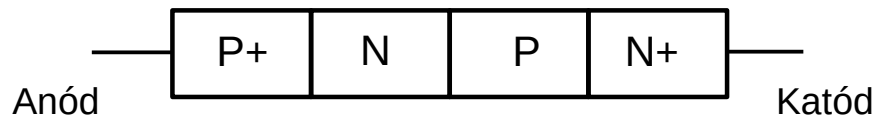
$$R_b = 1/y_{22s} * (1 + y_{21s} * R_S)$$

R_b nem olyan nagy mint bipoláris tranzisztor esetén

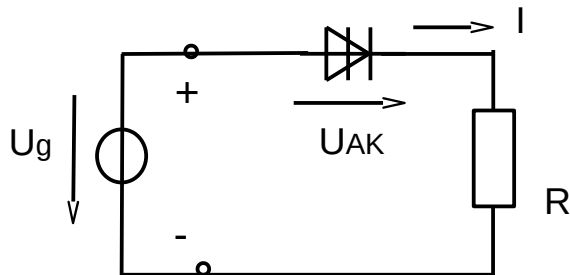
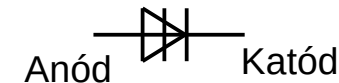
13.8. Négyrétegű dióda

1. felépítése, működése

- elnevezése még: tirisztordióda, dinisztor
- négy félvezető rétegből (három PN átmenetből) álló alkatrész
- a két középső réteg sokkal gyengébben szennyezett mint a két szélső !



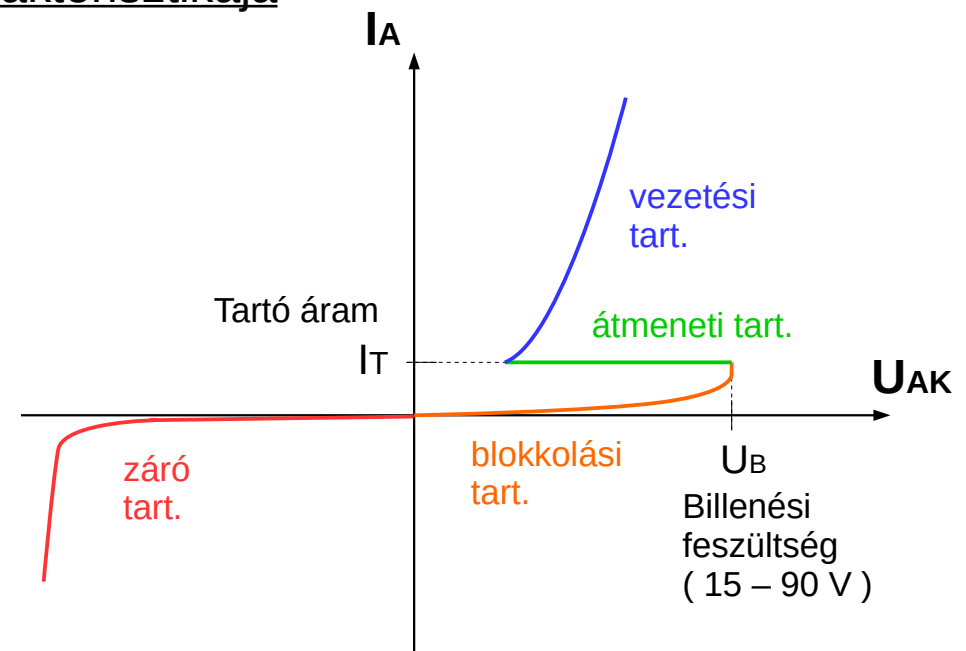
rajzjele



karakterisztikája

Nyitása → ha az anód-katód feszültség túllépi a billenési feszültséget → a középső, zárt P-N átmenetben lavina/Zener effektus lép fel → kinyit
Zárása → az áram lecsökkentése a tartó áram alá !
(I_T néhány mA általában)

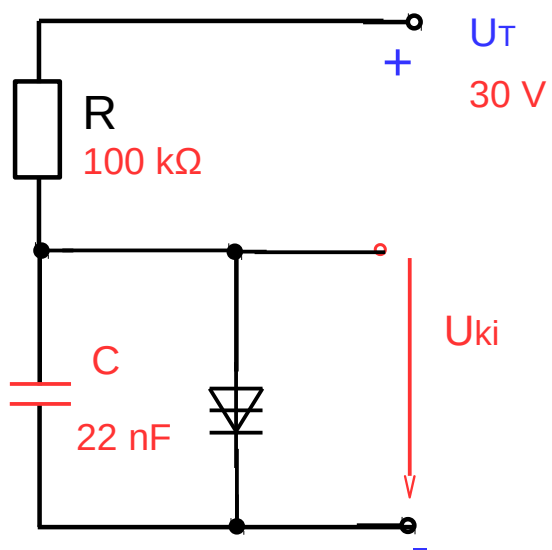
Nyitása után, már U_B -nél kisebb U_{AK} feszültség is elegendő a nyitva tartásához (1 – 2 V)



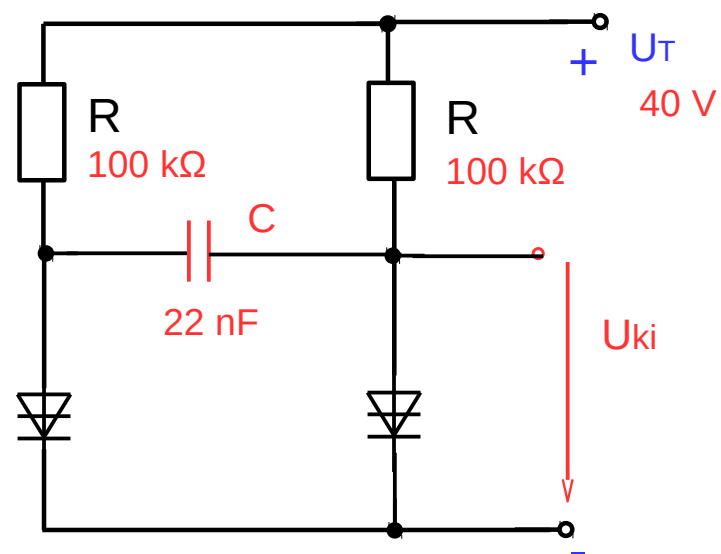
13.8. Négyrétegű dióda

2. alkalmazása

Fűrész generátor



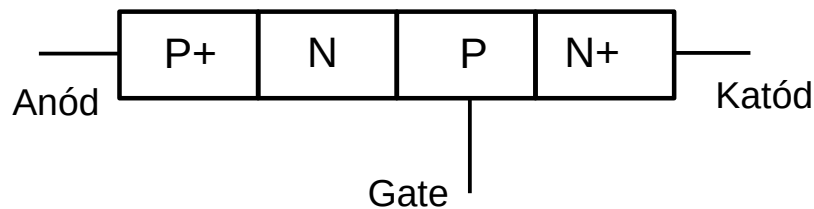
Astabil multivibrátor



13.9. Tirisztor

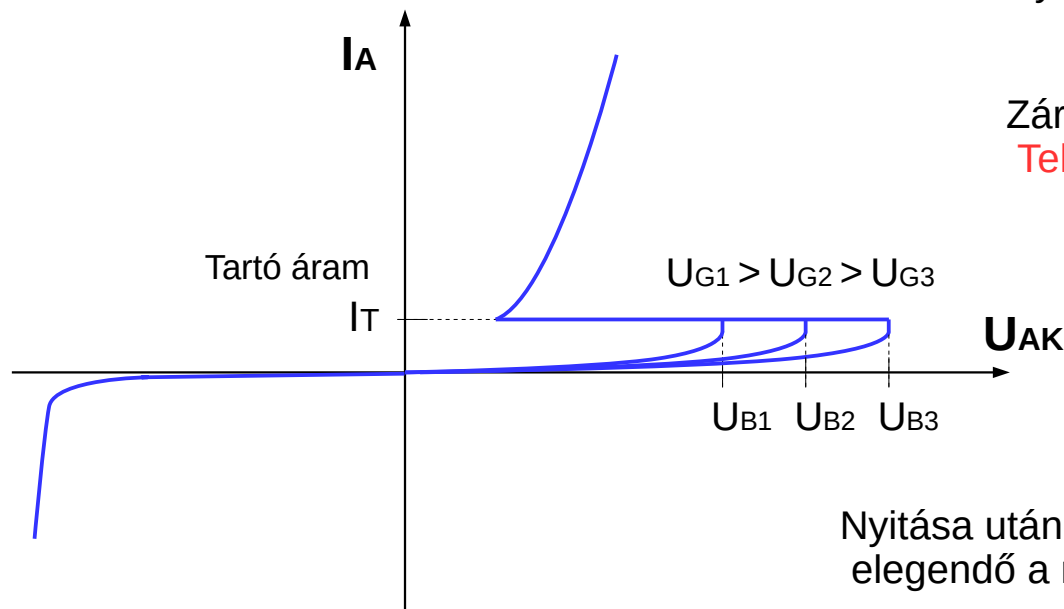
1. felépítése, működése

- elnevezése még: tirisztortrióda, négyrétegű trióda, vezérelt szilícium egyenirányító (SCR silicon controlled rectifier)
- négy félvezető rétegből (három PN átmenetből) álló alkatrész mint a tirisztordióda, de van egy vezérlőelektróda is !



Működése hasonló mint a négyrétegű diódáé, DE !
A vezérlő elektródára adott feszültség nagyságával (a vezérlő áram nagyságával) lehet változtatni a billenési feszültséget !
→ ha U_G nő → U_B csökken !!

karakterisztikája



Nyitása → ha az anód-katód feszültség túllépi a billenési feszültséget (U_B), amely a vezérlő feszültségtől függ
Zárása → az áram lecsökkentése a tartó áram alá !
Tehát a Gate feszültség változtatásával nem kapcsolható ki !!

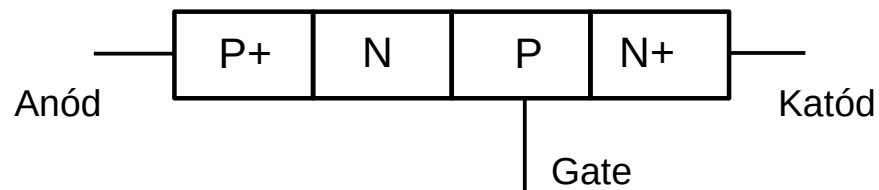
Nyitása után, már U_B -nél kisebb U_{AK} feszültség is elegendő a nyitva tartásához (1 – 2 V)

13.9. Tirisztor

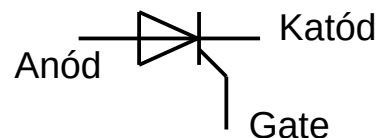
2. típusai

- többféle tirisztor létezik !
- az előzőekben tárgyalt a gyakoribb → ez a katódoldalról vezérelhető tirisztor (p vezérelt)

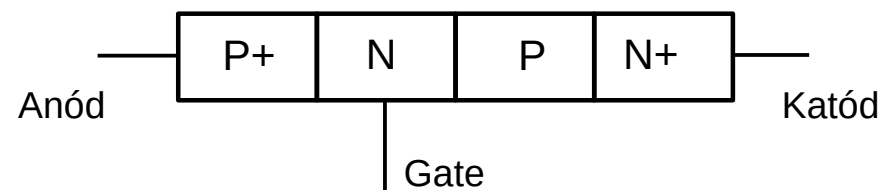
katódoldalról vezérelhető tirisztor



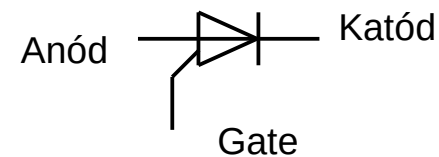
rajzjele



anódoldalról vezérelhető tirisztor



rajzjele

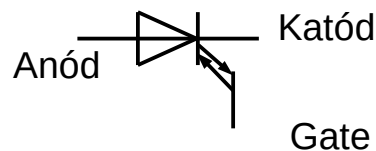


13.9. Tirisztor

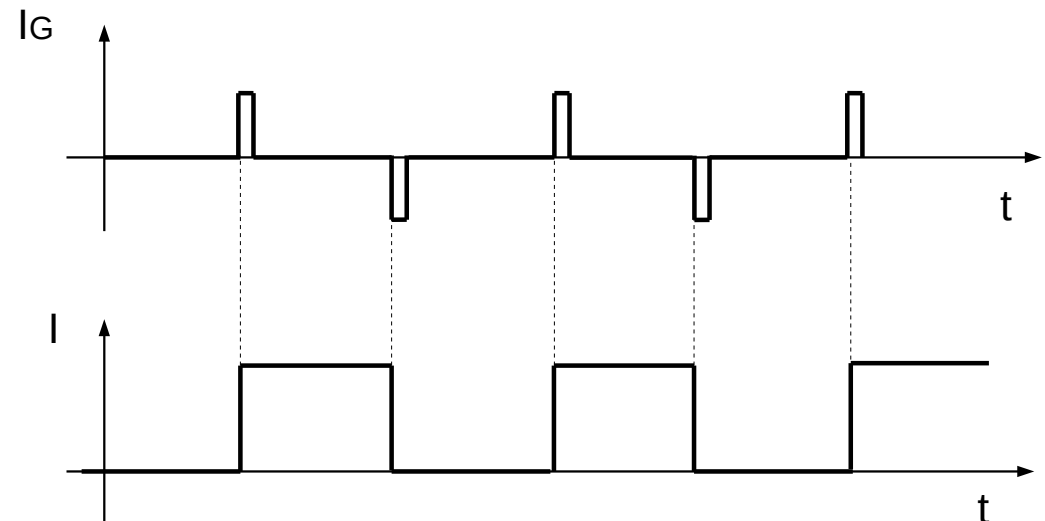
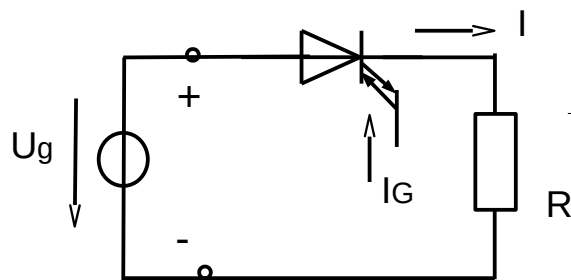
GTO tirisztor

- Gate Turn-Off thyristor
- vezérlő elektródával bekapcsolható (gyújtható) és kikapcsolható (oltható) tirisztor
- előfordulhat hogy két külön vezérlő elektródája van
(gyújtó → bekapcsolás, oltó → kikapcsolás)
- felhasználása jellemzően nagyfeszültségű, nagy áramú vezérlések esetén
(akár több ezer volt, több száz amper is !) → érintkező nélküli kapcsolók, szaggatók, váltakozó áramú motorok szabályozása, , ...

rajzjele

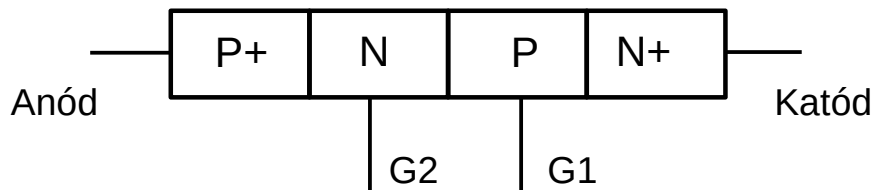


vezérlő elektródával → bekapcsolható (pozitív impulzus !)
→ kikapcsolható (negatív impulzus !)

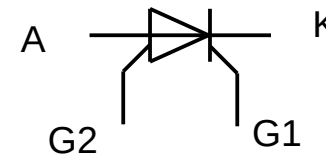


13.9. Tirisztor

Tirisztortetróda (SCS)



rajzjele



Vezérelhető csak az egyik - G1 vagy G2 - vagy mindkettő vezérlő elektródával

G1 vezérlő elektródával → bekapcsolható (pozitív impulzus !)
→ kikapcsolható (negatív impulzus !)

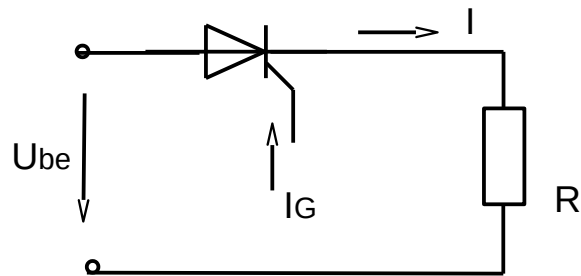
G2 vezérlő elektródával → bekapcsolható (negatív impulzus !)
→ kikapcsolható (pozitív impulzus !)

Alkalmazása: főleg kisebb áramú vezérlő és gyújtó áramkörökben

13.9. Tirisztor

3. alkalmazása

Fázishasításos vezérlés



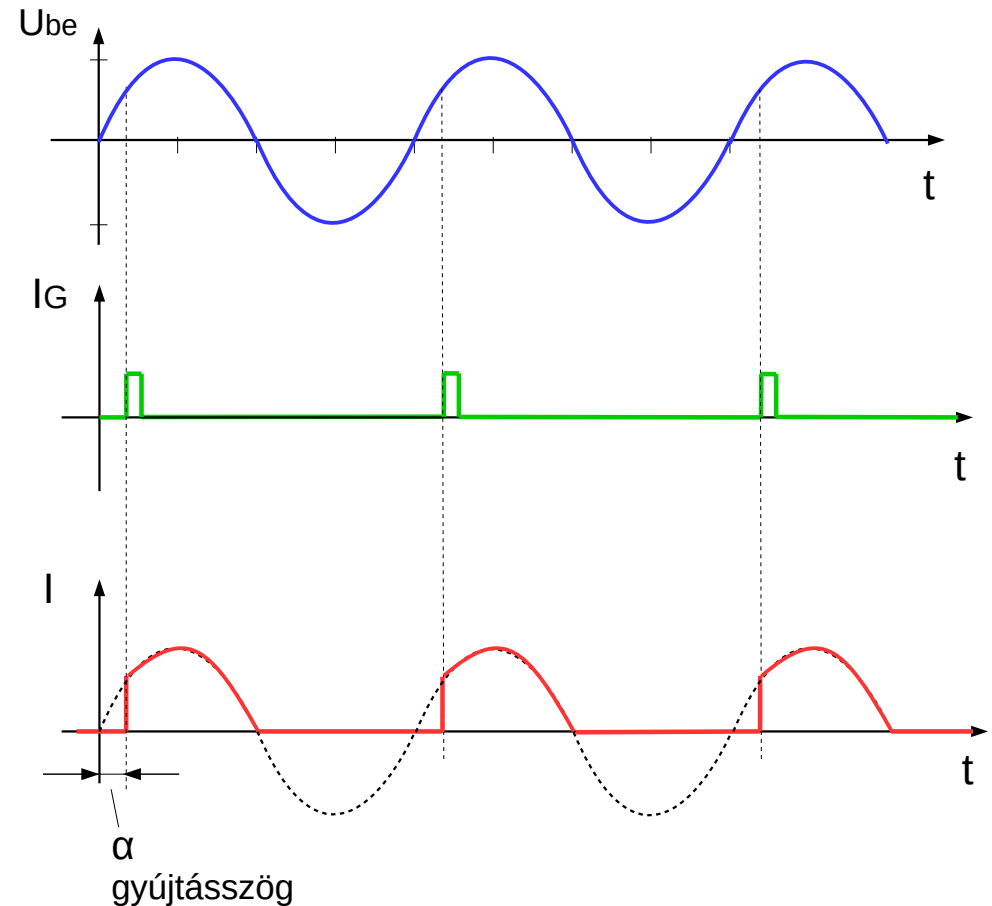
- bekapcsolás → I_G árammal (pozitív impulzus a Gate lábra)
- kikapcsolás → a váltakozó árammal, a nullátmenet közelében (ha az áram lecsökken I_T alá)

Vezérelt egyenirányító.

A fogyasztó teljesítménye szabályozható a gyújtásszöggel !

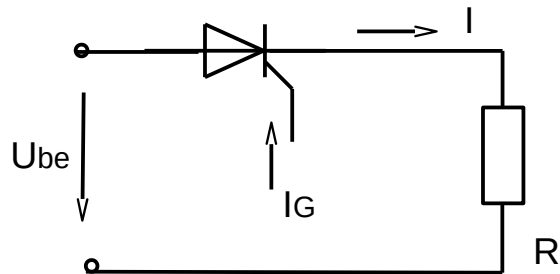
→ gyújtásszög nő → teljesítmény csökken

Hátrány: magas felharmonikusok → rádiófrekvenciás zavarok



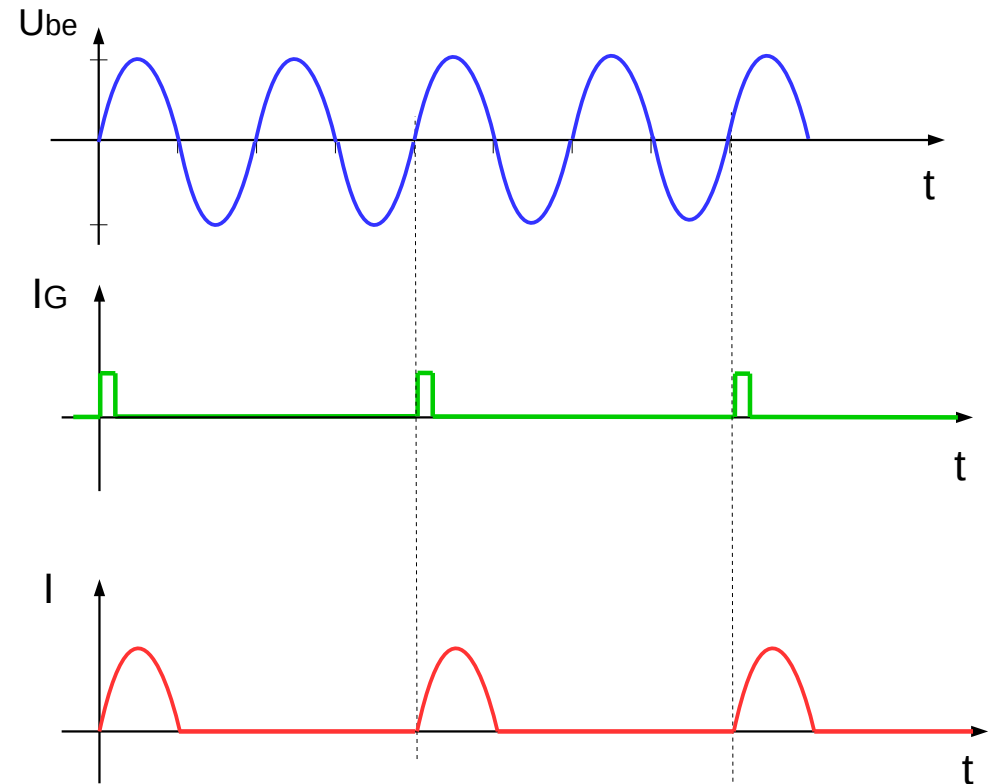
13.9. Tirisztor

Félhullám vezérlés



- bekapcsolás → I_G árammal (pozitív impulzus a Gate lábra)
- kikapcsolás → a váltakozó árammal, a nullátmenet közelében (ha az áram lecsökken I_T alá)

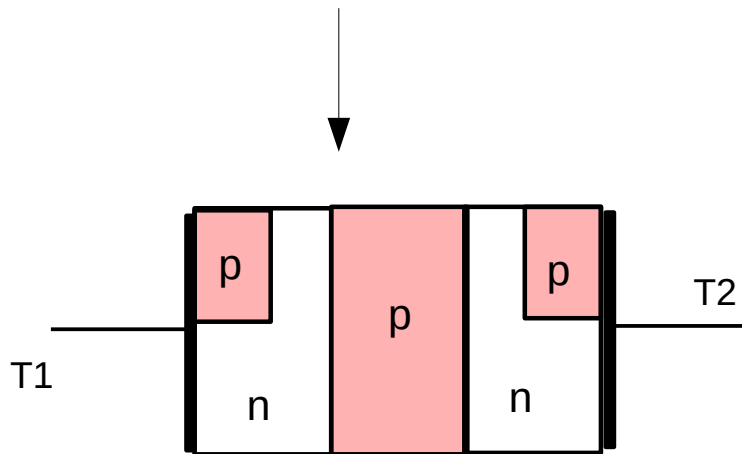
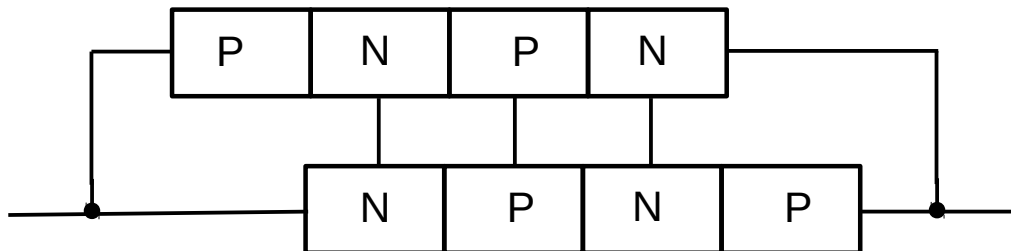
Teljes félhullámokat engedünk át (gyújtásszög 0), de nem minden félhullámot ! →
A fogyasztó teljesítménye szabályozható I_G impulzus sorozatának frekvenciájával
Előny: kevesebb felharmonikus



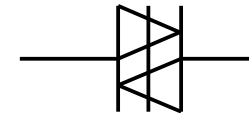
13.10. Diac

1. Kétirányú tirisztordióda

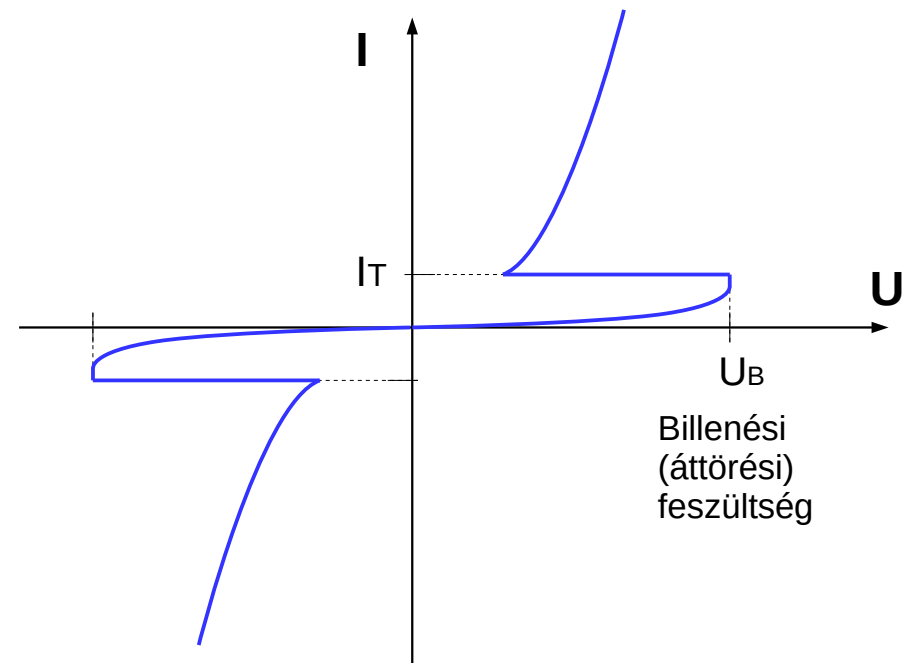
- váltakozó áramú kapcsoló dióda (diode alternating current switch)
- működése hasonló, mintha két négyrétegű dióda, ellentétes polaritással párhuzamosan lenne kapcsolva



rajzjele



karakterisztikája

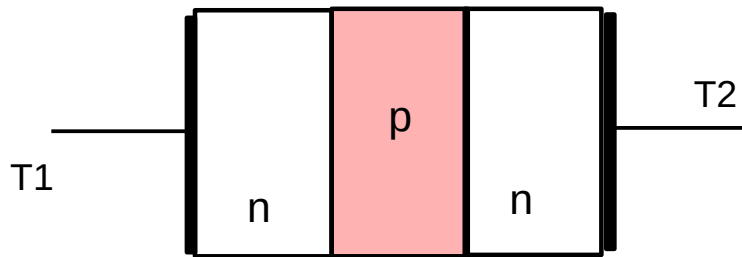
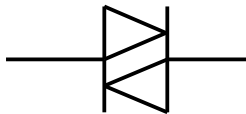


13.10. Diac

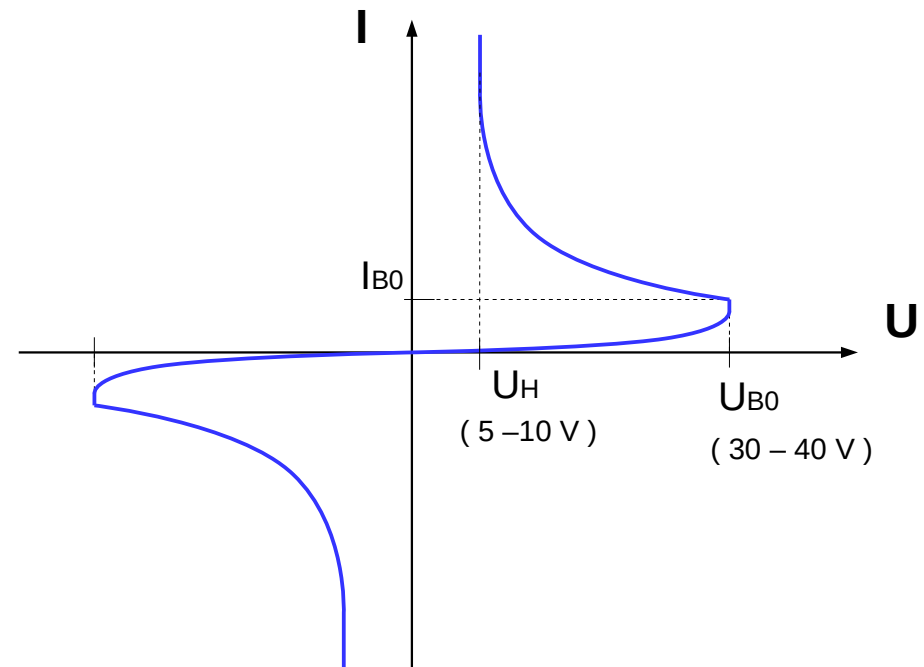
2. Kétirányú dióda

- váltakozó áramú kapcsoló dióda (DIAC) ez is
- npn vagy pnp szerkezetű

rajzjele



karakterisztikája



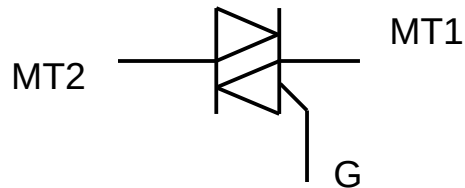
U_{B0} billenési feszültség → ha feszültsége ezt meghaladja → lavina letörés → kinyit
 U_H kritikus feszültség → ha feszültsége ez alá csökken → lezár

13.11. Triac

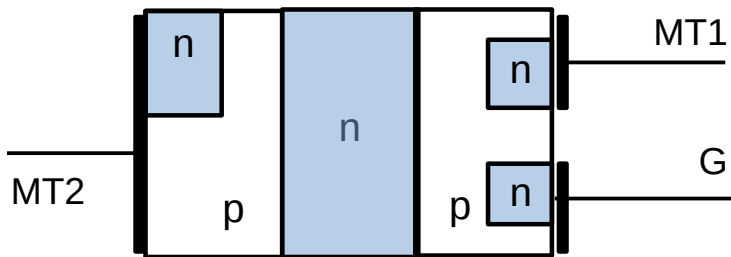
1. felépítése, működése

- váltakozó áramú tirisztor (TRIode for Alternating Current), kétirányú tirisztortrióda
- működése hasonló, mintha két tirisztor, ellentétes polaritással párhuzamosan lenne kapcsolva

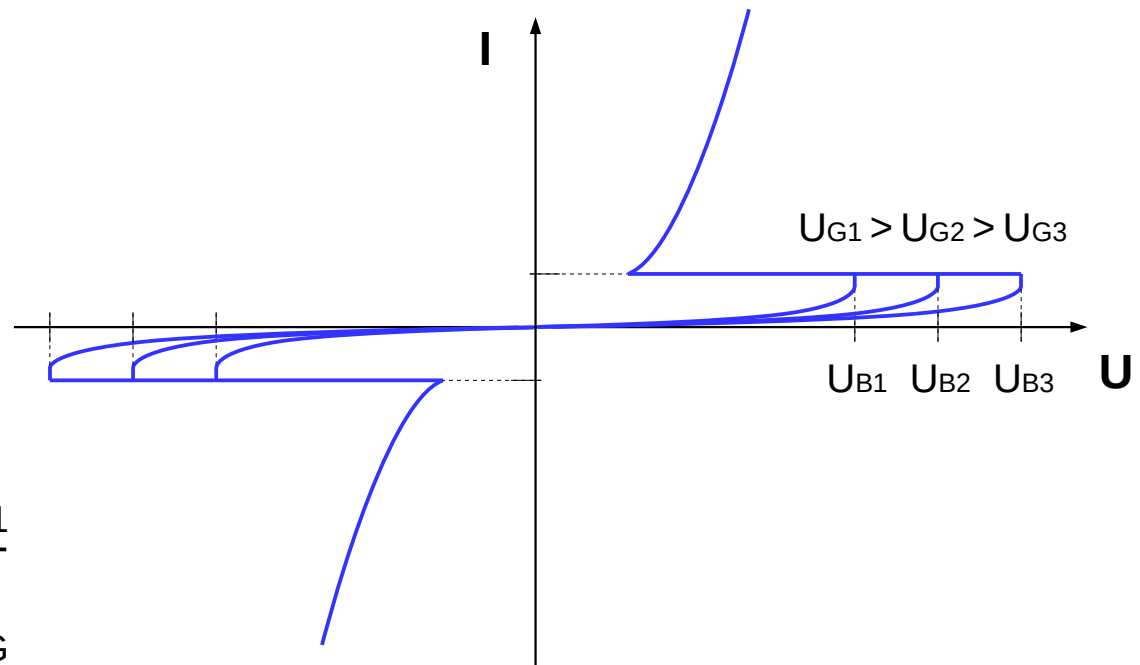
rajzjele



felépítése



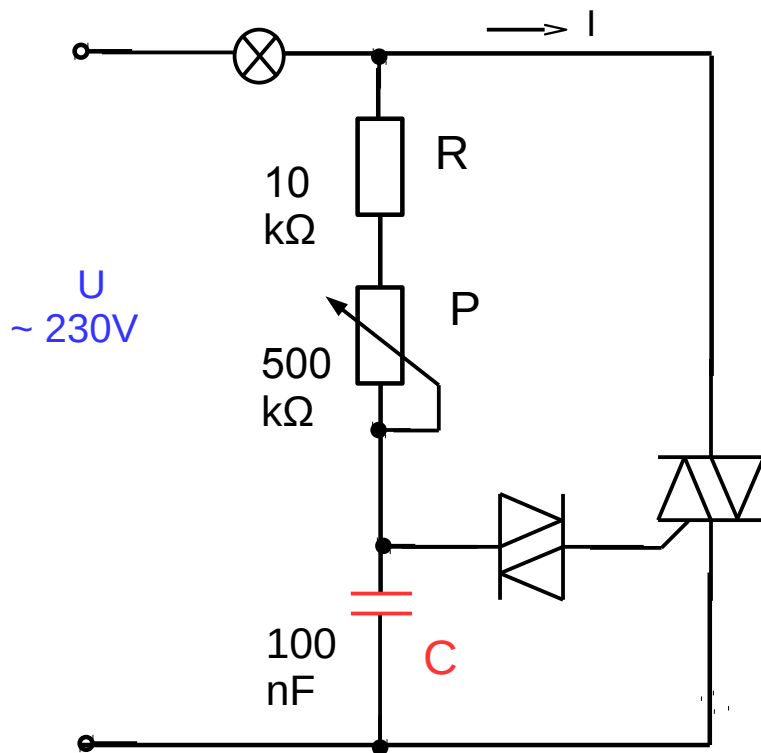
karakterisztikája



13.11. Triac

2. alkalmazása

Fényerő szabályozás



A gyújtásszöget a kondenzátor megfelelő feszültségre (a diac billenő feszültségére) feltöltődésének ideje határozza meg (fázishasításos vezérlés mindkét félhullámban)

→ P potméterrel tudjuk állítani

A kimenet nem szinuszos → felharmonikusok ! → zavarcsűrés kell !!

