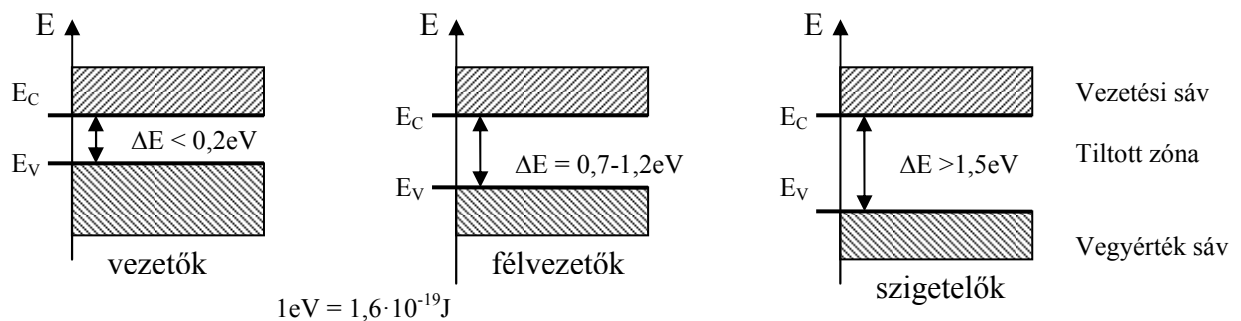


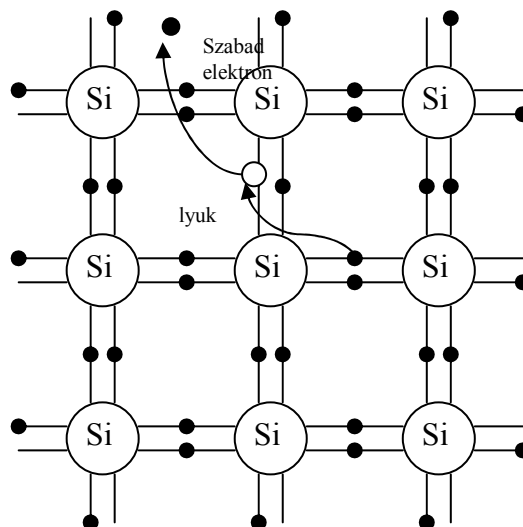
Elektro- és irányítástechnika II. jegyzet-vázlat

1. Félvezető anyagok

- elektromos szempontból az anyagokat három csoportra oszthatjuk:
 - vezetők
 - félvezetők
 - szigetelő anyagok
- vezetők: normál körülmények között rendelkeznek szabad elektronokkal (II-III vegyértékű fémek, Cu, Al, Fe, stb.)
- félvezetők: bizonyos körülmények között vezetővé válhatnak (IV vegyértékű anyagok, Ge, Si)
- szigetelők: nem rendelkeznek szabad elektronokkal
- kémiai szerkezetük, energiasávok



- a félvezetők esetében ahhoz, hogy egy elektron kiszabaduljon a vegyérték sávból és szabad elektronná váljon, kellő energiával kell rendelkezzen. Pl. hő hatására.
- *intrinsik* vezetés: egyes elektronok a vegyérték sávból a vezetési sávba kerülnek. Helyükön lyuk (elektron hiány) keletkezik. Ezeket a lyukakat elfoglalhatják más elektronok.

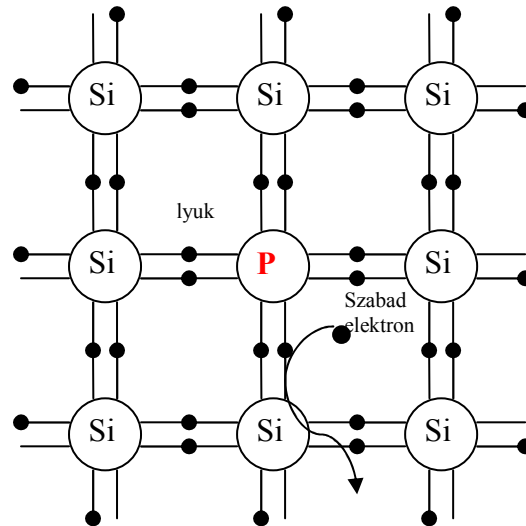


- energia hatására a kovalens kötések felszakadhatnak és elektron-lyuk pár keletkezik.
- *rekombináció*: amikor megszűnik a vezetés és a lyukak helyét elektronok foglalják el.

1.1 Szennyezett félvezetők

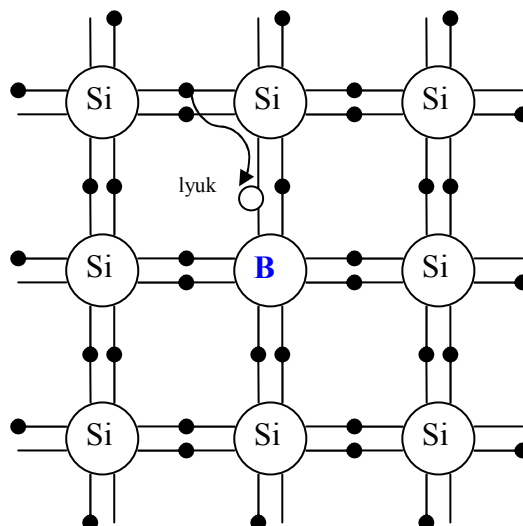
- szennyezés V illetve III vegyértékű anyaggal
- V vegyértékű anyagok: foszfor (P), arzén (As), bismut (Bi)
- III vegyértékű anyagok: bór (B), alumínium (Al), gallium (Ga)

1.1.1. N-típusú szennyezés



- N- típusú szennyezés: donor atom az öt vegyértékű foszfor;
- donor típusú szennyezés;
- *N-típusú félvezetőt* kapunk; a többségi töltéshordozók az elektronok

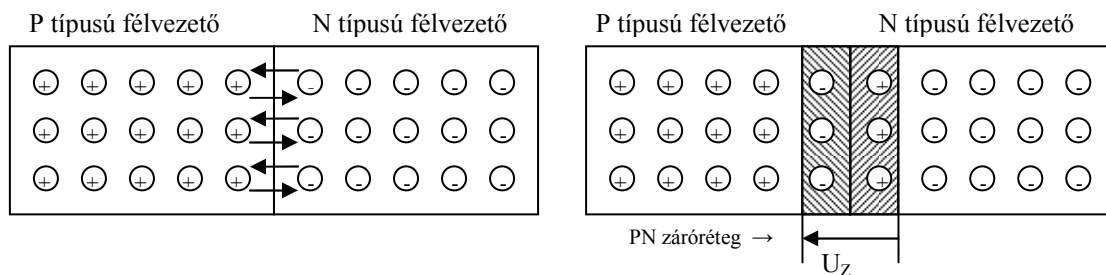
1.1.2. P- típusú szennyezés



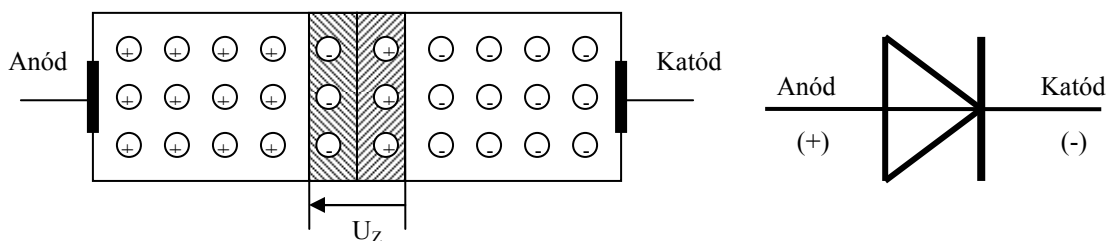
- P- típusú szennyezés: akceptor atom a három vegyértékű Bór;
- akceptor típusú szennyezés;
- *P- típusú félvezetőt* kapunk; a többségi töltéshordozók a lyukak
- A szennyezet félvezetőkben feszültség hatására a többségi töltéshordozóknak köszönhetően (elektronok és a lyukak rendezett mozgása) áram jön létre

1.2. Félvezető diódák

- P és N típusú félvezető alkotja

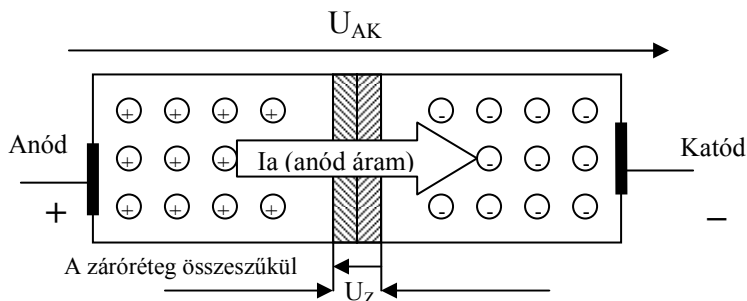


- A határréteg szomszédságában PN átmenti réteg alakul ki. Ezt *záróréteg*nek nevezzük. A kialakult záróréteg feszültség iránya megakadályozza a további töltéshordozók átvándorlását a szomszédos tartományból.



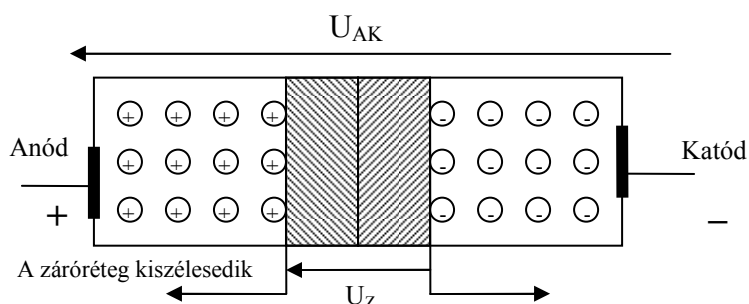
A záróréteg feszültség Si alapú félvezetőnél $U_Z \approx 0,6 \text{ V}$

1.2.1. A PN átmenet viselkedése feszültség hatására



a) $U_{AK} > 0;$
 $U_{AK} \gg U_Z$
 $I_a > 0$

A dióda kinyit, rajta keresztül anód-katód irányban áram halad át. Ezt *anód áramnak* nevezzük.

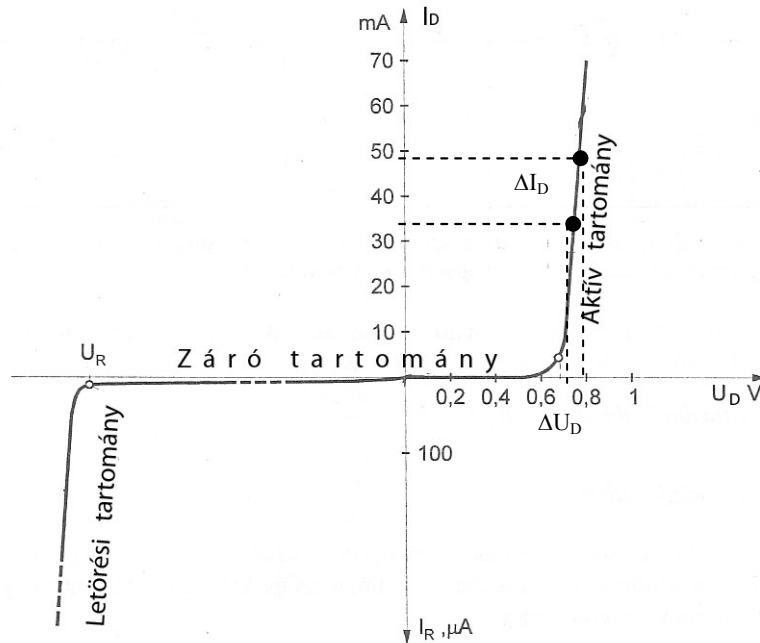
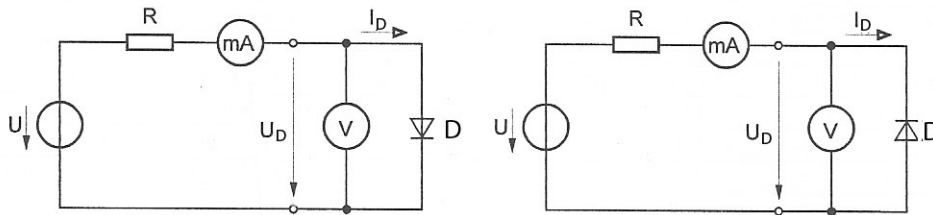


b) $U_{AK} < 0;$
A záróréteg kiszélesedik, a dióda lezár és rajta keresztül áram nem halad. (csak nagyon kicsi ún. inverz irányú maradékáram)
 $I_a = 0$

1.2.2. A félvezető dióda jelleggörbéje (karakterisztikája)

- Jelleggörbe: az eszköz működését leíró matematikai függvény
- Jelen esetben: $I_D = f(U_D)$

- A dióda nyitó- és záróirányú áramköri kapcsolása



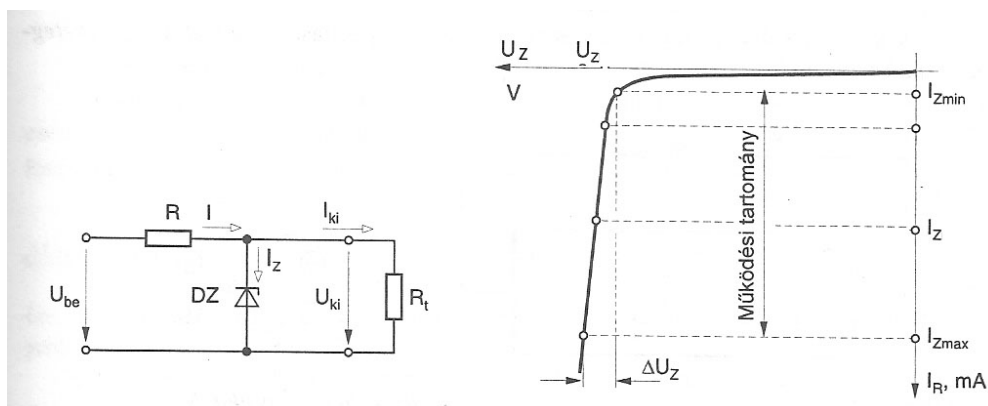
- differenciál ellenállás:

$$r_d = \frac{\Delta U_D}{\Delta I_D}$$

Feladat: Mekkora a diódán áthaladó áram nagysága, ha a táplálási feszültség 12 V, a diódával sorosan kapcsolt ellenállás értéke pedig 270 Ω ?

1.3. Zener diódák (stabilizátor diódák)

- Különleges záróréteg tulajdonságokkal (alacsony letörési feszültség) rendelkező diódák, amelyek az inverz irányú letörési tartományt használják aktív tartományként. Nyitó irányban ugyanúgy viselkednek, mint az egyenirányító diódák.
- Jelölések:



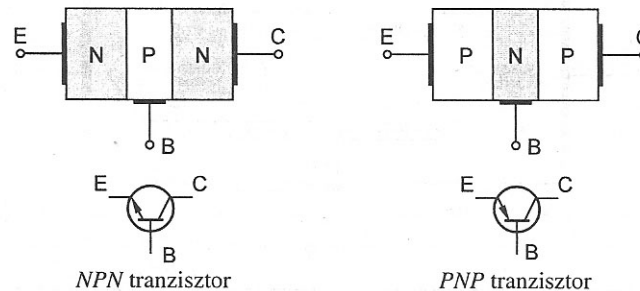
- Jellemző értékek:
 - o Zener feszültség: U_Z
 - o Zener áram: I_Z
 - o Differenciál ellenállás: r_Z
 - o Minimális Zener áram: I_{Zmin}
 - o Maximális Zener áram: I_{Zmax} (kritikus érték)
 - o Hőmérsékleti tényező: α_Z

Fontosabb Zener feszültség értékek (Zener diódák): 4,7 V; 5,1 V; 5,6 V; 6,2 V; 6,8 V; 7,5 V; 9 V; 12 V; 15 V

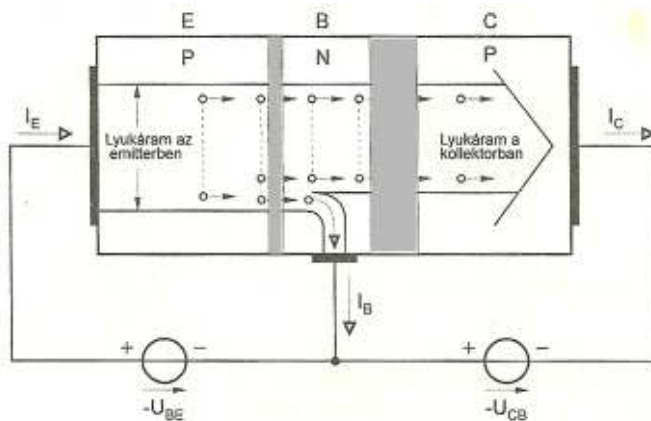
Feladat: Egy 6,8 V-os Zener diódát 12 V feszültségről táplálunk. Határozzuk meg a sorosan kapcsolt ellenállás értékét úgy, hogy a Zener áram 24 mA legyen! Mekkora értékű lehet az a minimális terhelő ellenállás, amelynél még a stabilizáló hatás érvényesül, ha a minimális Zener áram 5 mA?

1.4. Bipoláris tranzisztor

- Háromrétegű félvezető eszköz
- N-P-N vagy P-N-P típusú tranzisztorok
- Kivezetései: - emitter (E), bázis (B), kollektor (C)



- Két záróréteg (PN-átmenet)alakul ki: BE és BC
- Normál működés esetében a BE záróréteg direkt (nyitó irányú), míg a BC záróréteg inverz (záró irányú) feszültséget kap.
- PNP tranzisztor: - többségi töltéshordozók a lyukak
- NPN tranzisztor: - többségi töltéshordozók az elektronok



- áramok közötti összefüggés:

$$I_E = I_B + I_C; \quad I_B \ll I_C$$

I_E – emitter áram

I_B – bázis áram

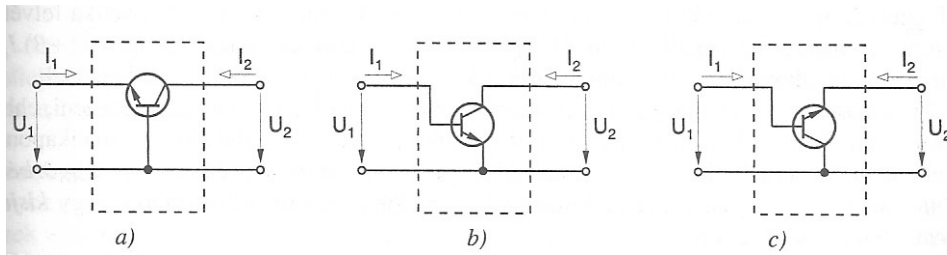
I_C – kollektor áram

- legfontosabb jellemző mennyiség az *áramerősítési tényező* (β)

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

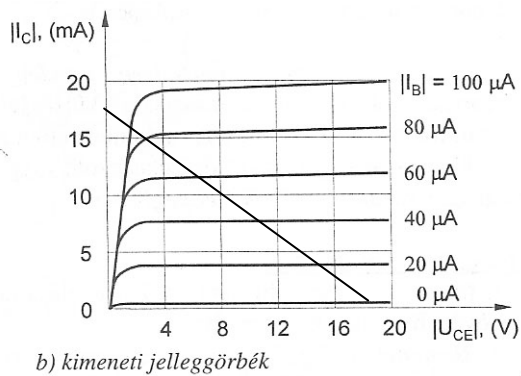
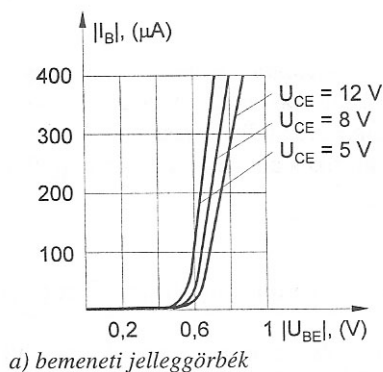
- Működési elv: *kismértékű bázisáram változás nagy kollektoráram változást idéz elő.*

- Alapkapcsolások: közös bázis (a), közös emitter (b) közös kollektor (c)

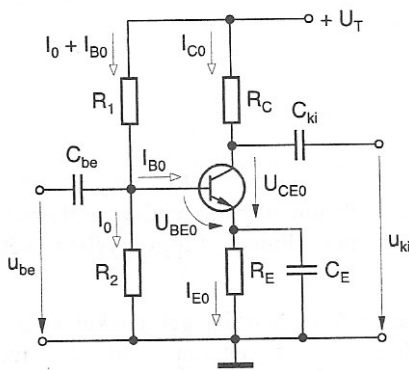


- Jellemző feszültség értékek:
 - U_{BE} – bázis-emitter feszültség,
 - U_{CE} – kollektor-emitter feszültség,
 - U_{BC} – bázis-kollektor feszültség.

A tranzisztor jelleggörbéi: - bemeneti jelleggörbe (a): $I_B = f(U_{BE})$, U_{CE} - állandó
 - kimeneti jelleggörbe (b): $I_C = f(U_{CE})$, I_B - állandó



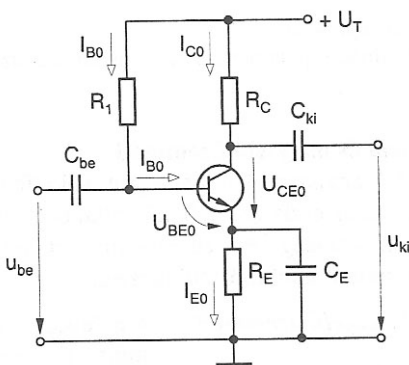
- Munkapont beállítás, munkaegyenes,
- A tranzisztor áramkörbe kapcsolása



- bázisosztóval ($R_1, R_2, I_0 \gg I_B$)

$$U_T \frac{R_2}{R_1 + R_2} = U_{BE0} + I_{E0} R_E$$

$$U_T = I_{C0} R_C + U_{CE0} + I_{E0} R_E$$



- bázisellenállással (R_1)

$$I_B = \frac{U_T - U_{BE0} - I_{E0} R_E}{R_1}$$

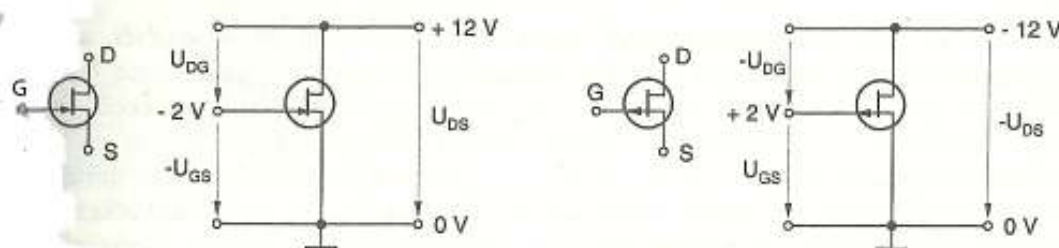
$$U_T = I_{C0} R_C + U_{CE0} + I_{E0} R_E$$

2. Unipoláris (térvezérlésű) tranzisztorok

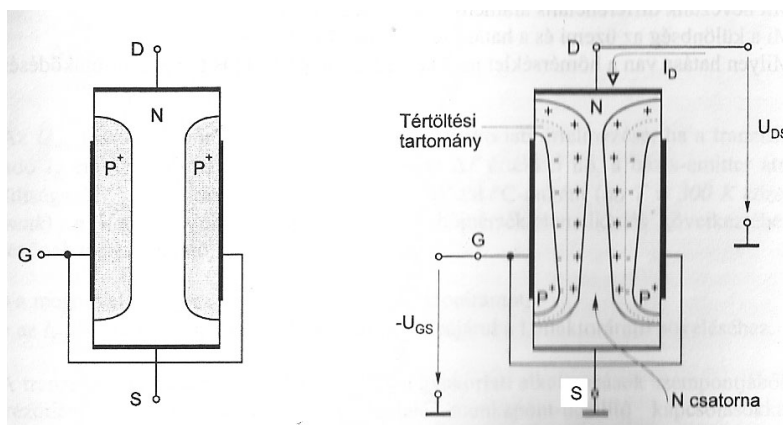
- a tranzisztor áramát csak egy fajta töltéshordozó (vagy elektron, vagy lyuk) biztosítja,
- az elektromos tér változása idéz elő áramváltozást
- rövidítés: **FET** (Field Effect Tranzistor)
- működési elve: egy félvezető csatorna (N vagy P típusú) vezetőképességének változtatása külső elektromos tér segítségével.
- A kapuelektroda felépítése szerint:
 - záróréteges (JFET)
 - szigetelt kapuelektrodás (MOSFET)

2.1. JFET tranzisztorok

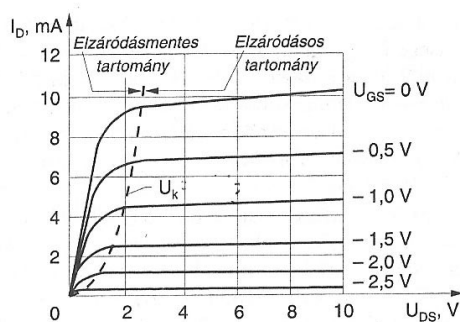
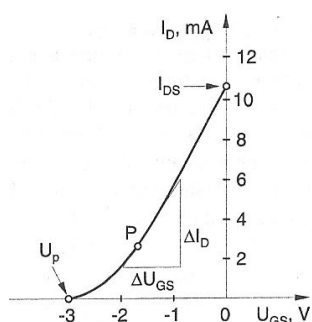
- N és P csatornás változat;
- 3 kivezetés: **G** – gate (kapu), **D** – drain (nyelő), **S** – source (forrás).



- felépítés



Működés: $U_{DS} > 0$ feszültséget a tranzisztor D és S -re. Ha $U_G = 0$ V, a csatorna ekkor a két PN átmenet zéróirányú polarizálást kap, de a csatorna ekkor a legszélesebb, vagyis az I_D áram ekkor lesz a legnagyobb. Ha kapura $U_G < 0$ V negatív feszültséget kapcsolunk a csatorna szélessége szűkülni fog, vagyis csökkenni fog a draináram, míg egy adott értéknél (U_P küszöbérték) teljesen lezár.



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

- I_{DS} a draináram csúcsértéke $U_{GS} = 0$ V-nál
- Elzáródás mentes tartomány: $U_{DS} \leq U_k$; I_D arányosan növekszik az U_{DS} -el. (telítődés)
- Elzáródásos tartomány: $U_{DS} \geq U_k$; I_D nem függ U_{DS} -től

- Jellemző értékek: - küszöbfeszültség: $U_p = -1,5 \text{ V} \div -4,5 \text{ V}$
 - meredekség (S): - adott U_{GS} feszültség változás milyen I_D draináram változást idéz elő

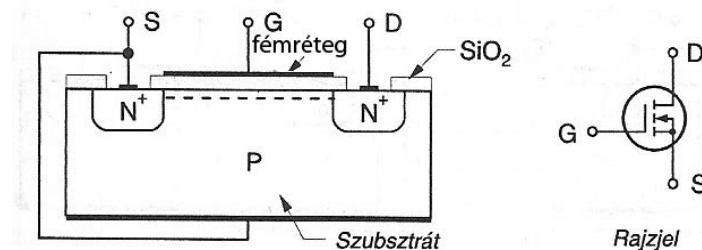
$$S = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}}$$

- differenciál ellenállás: $r_{DS} = \frac{\Delta U_{DS}}{\Delta I_D}$ - tipikus érték: 80 – 100k Ω
- Bemeneti ellenállás: $r_{GS} = 10^{10} - 10^{14} \Omega$
- A záróirányú áramok nagyon kicsik mivel nagyon kevés a kisebbségi töltéshordozó:
 $I_{G0} \approx 5 \text{ nA}$
 $I_{D0} \approx 20 \text{ nA}$
- határértékek: $U_{DSmax} = 30 \text{ V}$, $U_{GSmax} = -20 \text{ V}$, $I_{Dmax} = 25 \text{ mA}$, $P_{totmax} = 300 \text{ mW}$

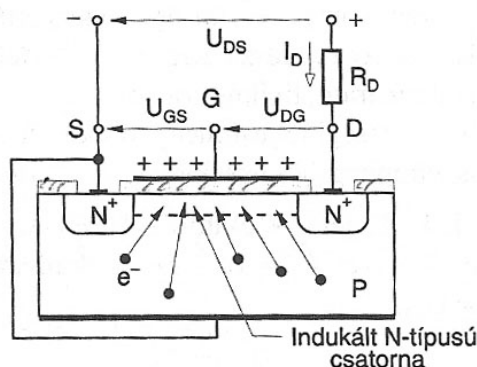
2.2. MOSFET tranzisztorok (Metal-Oxid-Semiconductor)

- Két típus: növekményes (önzáró) és kiürítéses (önvezető)
- Mindkét típusból N és P csatornás változat is van.

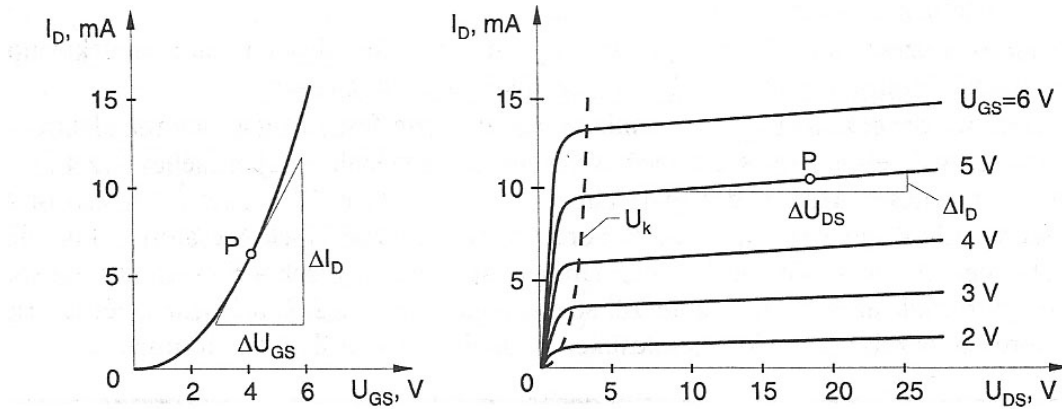
N csatornás növekményes MOSFET



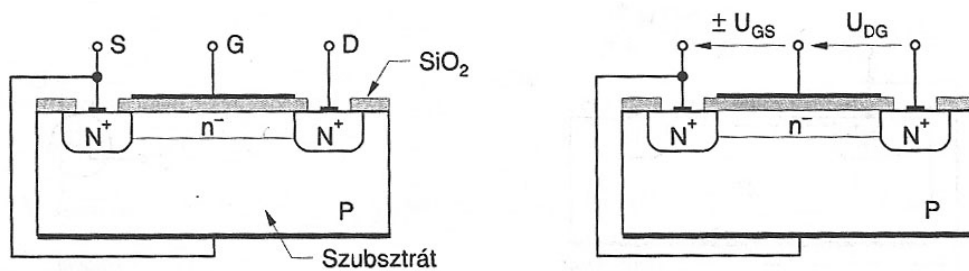
- Felépítés: - gyengén szennyezett P típusú szubsztrát rétegbe két helyen erősen szennyezett N^+ szigeteket alakítanak ki. D és S csatlakozókkal látják el. A szubsztrátot még a tokon belül összekötik az S-el. A két sziget közötti részen a szubsztrátot jól szigetelő SiO_2 réteggel vonják be, majd ezt fémréteggel vonják be. Ez lesz a G kivezetés.
- Működés: ha a kapu (G) elektróda szabadon van (nem kapcsolunk rá feszültséget), bármilyen polaritású feszültséget is kapcsolunk a D és S-re a tranzisztor zárva marad.
- Ha a G-re pozitív feszültséget kapcsolunk, a keletkező elektromos tér hatására a szubsztrátban lévő kisebbségi töltéshordozók vagyis az elektronok a gate irányába vándorolnak és egy N típusú csatornát indukálnak a D és S között. Áram jön létre a D-S között, amely arányos lesz az U_{GS} feszültséggel.



- Mivel a vezérlést elektromos tér hozza létre, I_G áram gyakorlatilag nincs vagyis teljesítményfelvétel nélkül tudjuk a draináramot vezérelni.
- jelleggörbe

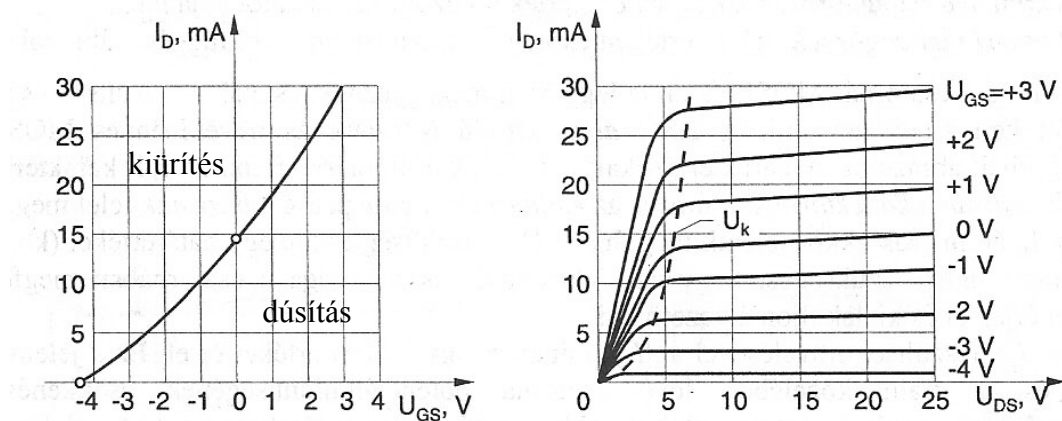


N csatornás kiürítéses MOSFET

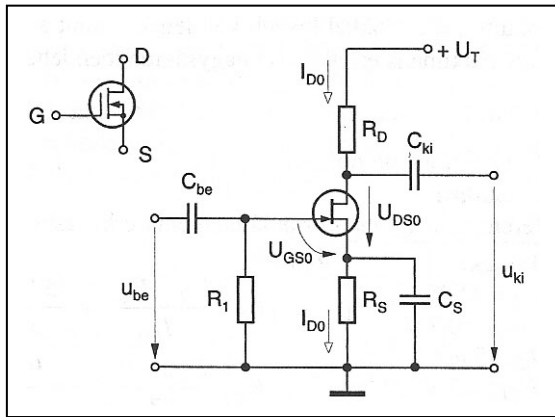


Kialakítása hasonló az előzőhöz, csak itt SiO₂ réteg alá vékony, gyengén szennyezett N csatornát alakítanak ki. Ekkor, ha feszültséget kapcsolunk a DS-re a D-S között áram jön létre ha a gatere semmilyen feszültséget sem kapcsolunk. Vezérlése mind pozitív, mind negatív G feszültséggel lehetséges.

Ennek megfelelően két üzemmódban működhet: - dúsítás ($U_{GS} > 0$; növekszik a draináram)
- kiürítéses ($U_{GS} < 0$; csökken a draináram)



Munkapont, munkaegyenes (FET)



$$U_{GS0} = U_P \left(1 - \sqrt{\frac{I_{D0}}{I_{DS}}}\right)$$

$$R_S \frac{|U_{GS0}|}{I_{D0}} = \frac{|U_P|}{I_{D0}} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{I_{D0}}{I_{DS}}}\right)$$

$$U_T = U_{DS0} + I_{D0} \cdot (R_D + R_S);$$

$$R_D = \frac{U_T - U_{DS0}}{I_{D0}} - R_S$$

- az R_1 gate ellenállást $1 \div 10\text{M}\Omega$ nagyságúra választható

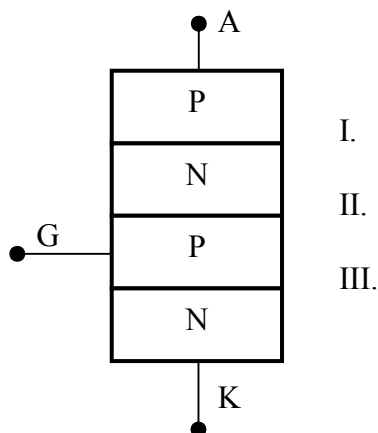
Feladat: Határozzuk meg a fenti JFET áramkör munkapont-beállító elemeit (R_D , R_S , R_1), ha:

$$\begin{aligned} U_T &= 18\text{V} \\ U_{DS0} &= 9\text{V} \\ I_{DS0} &= 2\text{mA} \\ I_{DS} &= 10\text{mA} \\ U_P &= -3\text{V} \end{aligned}$$

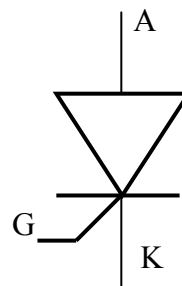
3. Négyrétegű félvezetők

3.1 Tirisztorok

- 3 záró réteggel rendelkezik
- teljesítményelektronikai eszköz; nagyteljesítményű kapcsoló
- felépítés: P-N-P-N félvezető réteg, közöttük 3 záró réteg (I.; II.; III.)

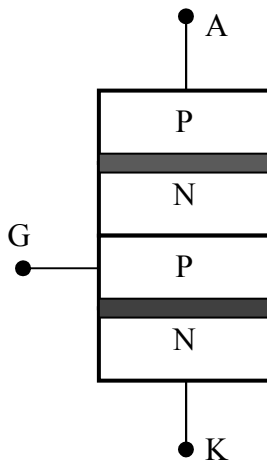


Jelölés:

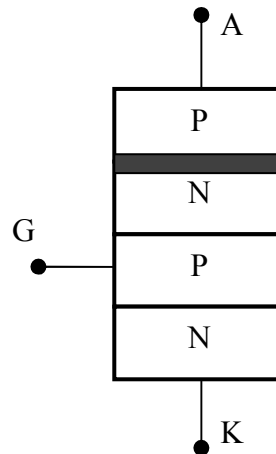


- működés:
 - o két eset szerint vizsgáljuk: A-K pozitív feszültség
 - A-K negatív feszültség

1) $U_{AK} < 0$ (negatív)



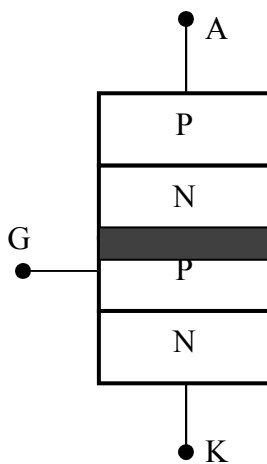
b. $U_G = 0$
 I. kisélesedik
 II. nyit
 III. kisélesedik
 $I_A = 0$ (nem vezet)



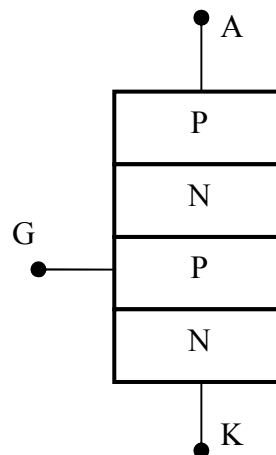
a. $U_G > 0$
 I. kisélesedik
 II. nyit
 III. nyit
 $I_A = 0$ (nem vezet)

- negatív anódfeszültség esetében a tirisztort semmilyen körülmények között nem tudjuk gyújtani.

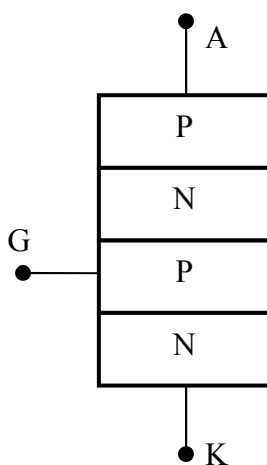
2) $U_{AK} > 0$ (pozitív)



a. $U_G = 0$
 I. nyit
 II. kisélesedik
 III. nyit
 $I_A = 0$ (nem vezet)

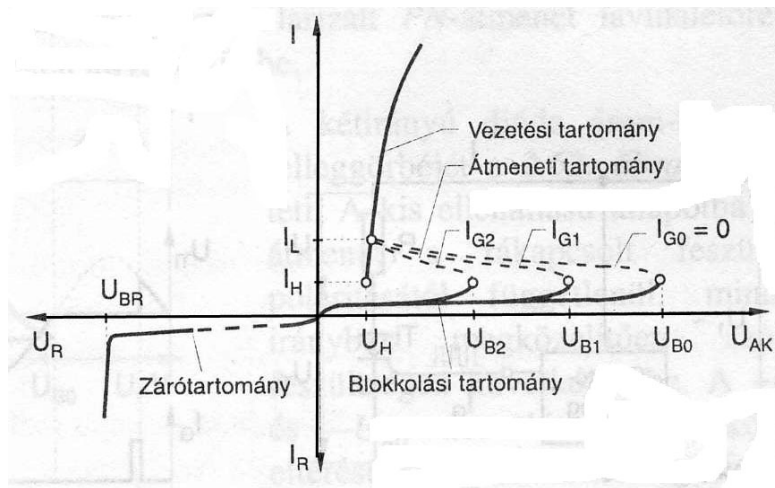


**b. $U_G = 0$
 $U_{AK} = U_{B0}$**
 I. nyit
 II. nyit
 III. nyit
 $I_A > 0$ (vezet)



c. $U_G > 0$
 I. nyit
 II. nyit
 III. nyit
 $I_A > 0$ (vezet)

- jelleggörbe: $I_A = f(U_{AK})$



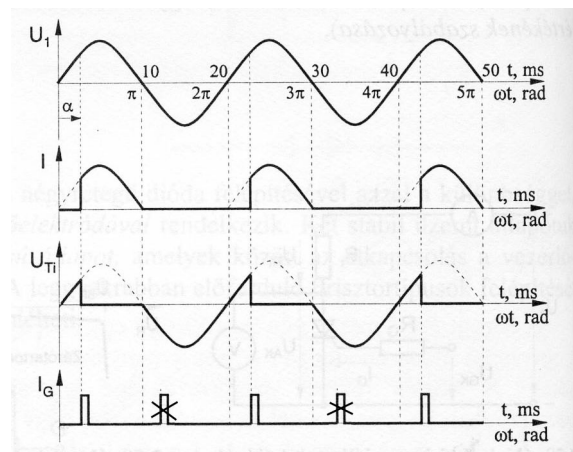
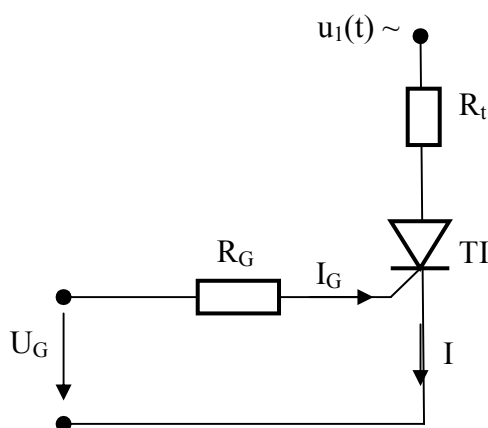
- U_R – letörési feszültség (kritikus érték)
- U_{RM} – rövid ideig tartó, ismételhető maximális negatív zárófeszültség
- I_H – fenntartási áram
- U_H – tarófeszültség
- U_G – gyújtófeszültség
- I_G – kapuáram vagy gyújtóáram (5-10mA)
- U_{B0} – billenési feszültség ($U_G = 0$ gyújtófeszültségnél)
- $I_{G2} > I_{G1} > I_{G0}$ - gyújtóáramok

A tirisztor megfelelő polaritású anód-katód feszültség mellett, akár rövid ideig tartó gyújtófeszültséggel vezetési (nyitott) állapotba hozható. Kiontása kapufeszültséggel nem lehetséges. A tirisztor kiontása csak akkor lehetséges, ha az anódáramot lecsökkentjük a fenntartási áram értéke alá.

-a kiontás feltétele:

$$I_A < I_H$$

- alkalmazás: pl. vezérelt egyenirányító

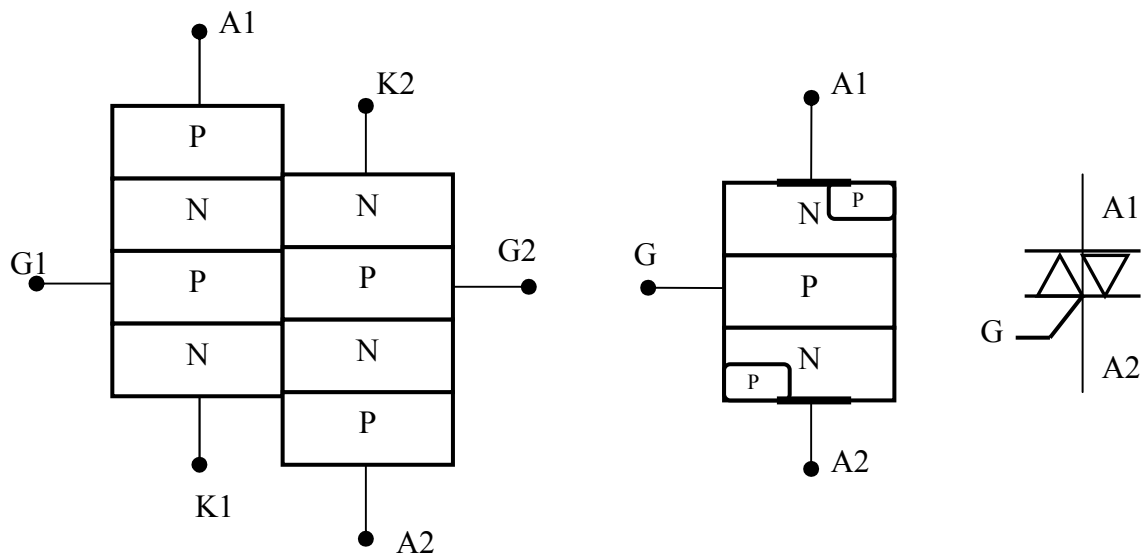


- $\alpha = 30^\circ \rightarrow$ minimális gyújtási szögnél az anódáram (I) maximális
- $\alpha = 150^\circ \rightarrow$ maximális gyújtási szögnél az anódáram (I) minimális

$$30^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$$

3.2. Triak (kétirányú titisztördiódá)

- két ellenpárhuzamosan kapcsolt tirisztor egy tokozatban
- mindkét irányban vezeti az áramot



- működés:

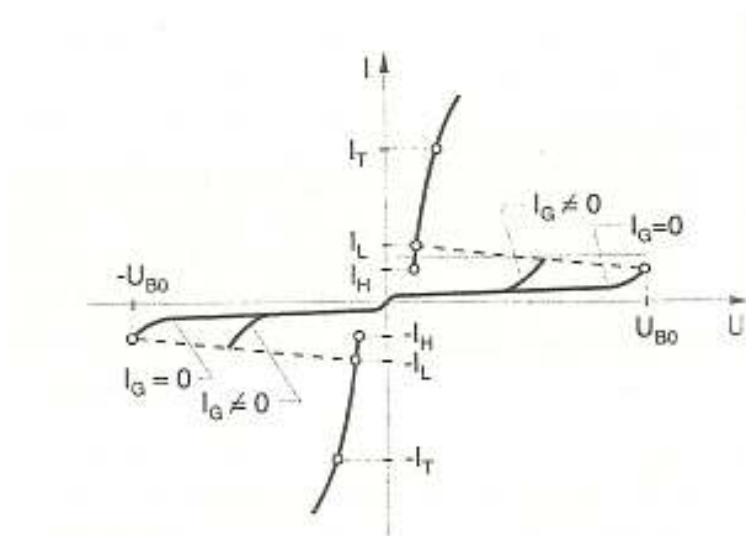
$$U_{A1-2} \neq 0$$

$$U_G = 0$$

$I_A = 0$ a triak NEM VEZET

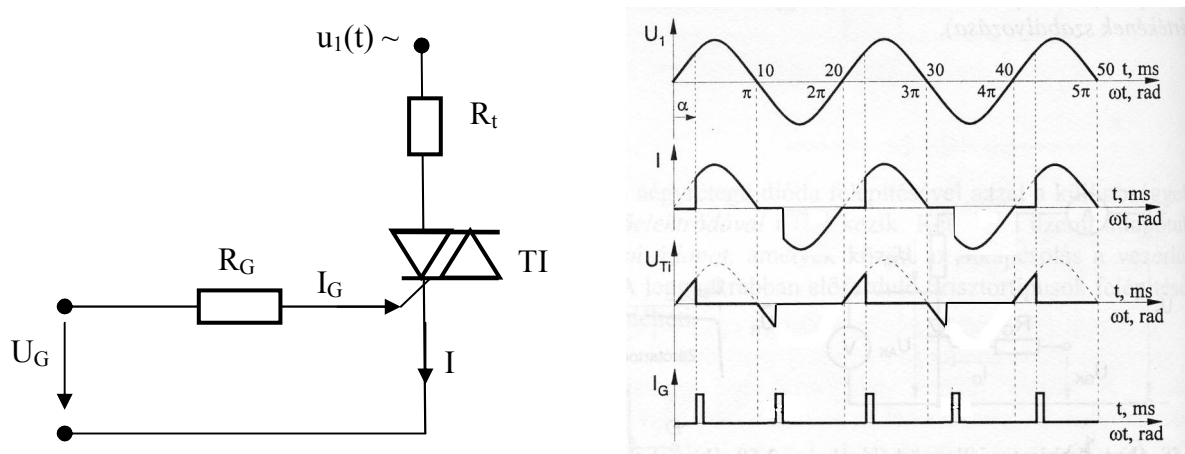
1) $U_{A1A2} > 0$	2) $U_{A1A2} > 0$	3) $U_{A1A2} < 0$	4) $U_{A1A2} < 0$
$U_G > 0$	$U_G < 0$	$U_G > 0$	$U_G < 0$
$I_A > 0$ (vezet)	$I_A > 0$ (vezet)	$I_A < 0$ (vezet)	$I_A < 0$ (vezet)

- jelleggörbe:



- szimmetrikus jelleggörbe

- alkalmazás: váltakozó áramú teljesítményszabályozó



$\alpha = 30^\circ \rightarrow$ minimális gyújtási szögnél az anódáram (I) maximális

$\alpha = 150^\circ \rightarrow$ maximális gyújtási szögnél az anódáram (I) minimális

$$30^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$$

A triakon áthaladó áram váltakozó áram, tehát triak nem egyenirányít!