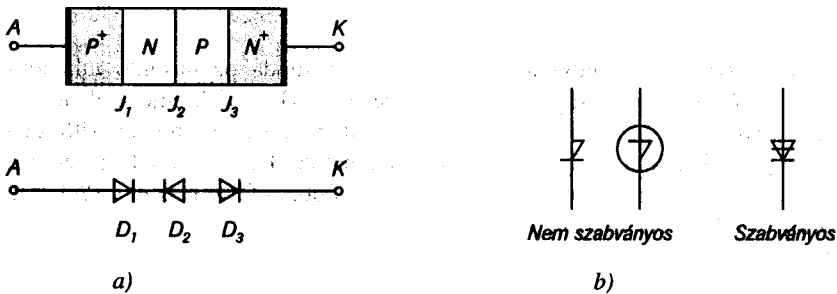


# 9. Erősáramú félvezető eszközök

## 9.1. Négyrétegű diódák

### 9.1.1. Felépítés és működés

A négyrétegű dióda szilícium alapú félvezető eszköz, amely négy egymás után kapcsolódó *PNPN* félvezető rétegből áll (9.1. ábra), három váltakozó irányú *PN*-átmenetet ( $J_1, J_2, J_3$ ) alkotva. A négyrétegű diódát nevezik még *tirisztordiódának*, *triggerdiódának* és *Shockley diódának*.



9.1. ábra. Négyrétegű dióda  
a) elvi felépítése b) áramköri jelölése

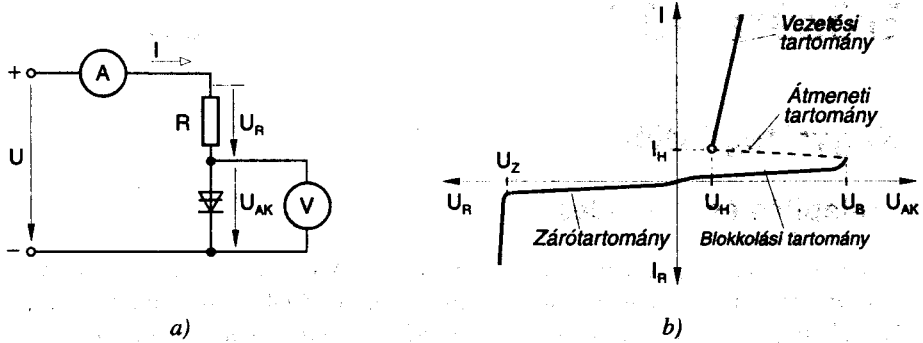
A három *PN*-átmenet mindegyike egy-egy diódát alkot, amelyeket  $D_1, D_2$  és  $D_3$  jelöl. A négyrétegű dióda anódja (*A*) erősen szennyezett *P* réteg, katódja (*K*) erősen szennyezett *N* réteg. A köztes rétegek szennyezettsége legalább két nagyságrenddel kisebb, ami záróirányban kis visszáramot és nyitóirányban nagy *billenési feszültséget* ( $U_B$ ) eredményez. A 9.2. ábra a négyrétegű dióda  $I = f(U)$  *jelleggörbáját* és meghatározásához szükséges kapcsolást mutatja. A jelleggörbén megkülönböztetjük:

- a *zárási*,
- a *blokkolási*,
- az *átmeneti* és
- a *vezetési tartományt*.

Nyitóirányú előfeszítésnél a  $D_1$  és  $D_3$  részdiódák nyitó-, a  $D_2$  részdióda záróirányban van előfeszítve. A diódán átfolyó áramot ez a záróréteg fogja meghatározni. A *blokkolási szakaszban* a visszáram értéke nagyon kicsi, azaz a négyrétegű dióda nagy ellenállású. A feszültséget növelve, az  $U_B$  *billenési feszültségen* bekövetkezik a középső *NP*-átmenet *Zener-átütése* és a négyrétegű dióda kis ellenállású állapotba megy át. A jelleggörbének ezt a visszahajló részét, ahol a differenciális ellenállás negatív értékű, *átmeneti szakasznak* nevezik. A vezetési szakaszban a négyrétegű dióda ellenállása kicsi (tized ohm nagyságú), ezért a vezetési irányú áramot korlátozni kell.

A vezetési tartománynak a kezdőpontját határozza meg az  $I_H$  *kritikus áram* és a hozzá tartozó  $U_H$  *kritikus feszültség*.

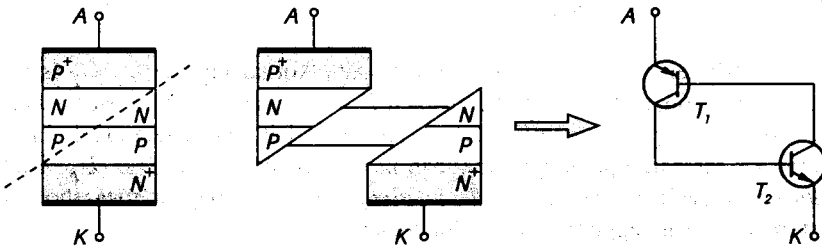
Ha az áram, vagy a feszültség az  $I_H$  vagy az  $U_H$  értéke alá csökken, a négyrétegű dióda visszkapcsol nagy ellenállású állapotába.



9.2. ábra.

- a) a négyrétegű dióda jelleggörbéjének meghatározására szükséges kapcsolás
- b) a négyrétegű dióda jelleggörbéje

A zárási szakaszban a négyrétegű dióda a Zener-diódához hasonló tulajdonságokkal rendelkezik. Az  $U_Z$  zárófeszültség túllépése a félvezető eszköz tönkremeneteléhez vezethet. Figyelembe véve az eszköz 9.3. ábrán szemléltetett tranzisztoros helyettesítő kapcsolását, pontosabban követhetők a lejátszóó belső folyamatok. Ha gondolatban szétmetsszük a félvezető kristály keresztmetszetét, az ábrán látható módon a felső rész egy PNP tranzisztort, az alsó pedig egy NPN tranzisztort alkot.



9.3. ábra. A négyrétegű dióda tranzisztoros helyettesítő kapcsolása

Feltételezzük, hogy nyitó irányú előfeszítésnél az  $U_{AK} = U_B$  billenési feszültségen az egyik tranzisztor (pl. a  $T_1$ ) zárási árama nagyon kicsit kinyitja a másik tranzisztort ( a  $T_2$ -t ). Ennek megfelelően a  $T_1$  árama nagyobb lesz, amely tovább nyitja a  $T_2$  -t. A két tranzisztor kölcsönösen kivezérli egymást mindaddig, amíg mind a kettő teljesen nyitott állapotba nem kerül, ami megfelel a négyrétegű dióda kis ellenállású állapotának.

A négyrétegű dióda mindaddig kis ellenállású állapotban marad, amíg az eszközön folyó áram a kritikus  $I_H$  áram alá nem csökken. Ekkor a középső záróréteg újra kialakul az ott levő töltéshordozók távozása miatt.

## 9.1.2. Jellemző adatok és határértékek

### A négyrétegű diódák jellemzői

- billenési feszültség
- kritikus áram
- kritikus feszültség
- billenési áram
- zárási áram
- differenciális vezetési ellenállás
- bekapcsolási idő
- kikapcsolási idő

$$\begin{aligned}
 U_B &\approx 50 \pm 4 \text{ V}, \\
 I_H &\approx 14 \pm 4,5 \text{ mA}, \\
 U_H &\approx 0,8 \text{ V}, \\
 I_B &\approx 120 \mu\text{A}, \\
 I_R &\approx 15 \mu\text{A}, \\
 r_f &\approx 0,2 \Omega, \\
 t_{be} &\approx 0,2 \mu\text{s}, \\
 t_{ki} &\approx 5 \mu\text{s}.
 \end{aligned}$$

### A négyrétegű diódák határértékei

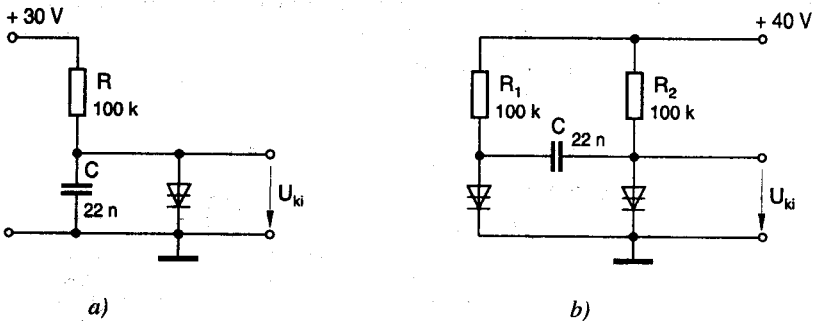
- maximális megengedett tartós egyenáram
- maximális megengedett impulzusáram
- maximális megengedett veszteségi teljesítmény
- környezeti hőmérséklettartomány
- maximális megengedett zárófeszültség

$$\begin{aligned}
 I_F &\approx 150 \text{ mA}, \\
 I_{FM} &\approx 10 \text{ A}, \\
 P_{tot} &\approx 150 \text{ mW}, \\
 T_{Umax} &\approx +65 \text{ }^\circ\text{C}, \\
 T_{Umin} &\approx -40 \text{ }^\circ\text{C}, \\
 U_{Rmax} &\approx 60 \text{ V}.
 \end{aligned}$$

## 9.1.3. Alkalmazások

Négyrétegű diódákat csak kis teljesítményre készítenek, nagyobb teljesítményeknél vezérelt négyrétegű diódákat, más néven *tirisztorokat* alkalmaznak. Tulajdonságait kihasználva, kapcsolóelemként építik be különböző impulzustechnikai áramkörökbe és főleg tirisztorok vezérlésére alkalmazzák.

A 9.4. ábrán egy fűrészgenerátor és egy astabil multivibrátor megvalósítását láthatjuk négyrétegű diódák felhasználásával.



9.4. ábra. Négyrétegű dióda alkalmazása

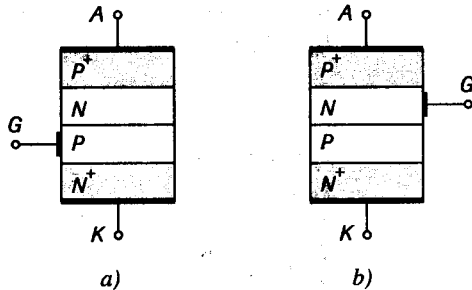
a) fűrészgenerátor kapcsolás

b) astabil multivibrátor kapcsolás

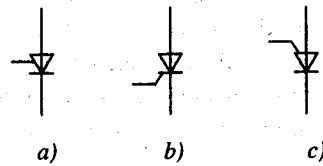
## 9.2. Tirisztorok

### 9.2.1. Felépítés és működés

A tirisztor felépítése megegyezik a négyrétegű dióda felépítésével azzal a különbséggel, hogy egy további kivezetéssel, *vezérlőelektródával* rendelkezik. Két stabil üzemi állapotuk van: – egy nagy- és egy kis ellenállású állapot, amelyek között az átkapcsolás a vezérlőelektródán keresztül valósítható meg. A leggyakrabban előforduló tirisztortípusok felépítését és rajzjelét a 9.5. és a 9.6. ábra szemlélteti.



**9.5. ábra.** A tirisztor felépítése  
 a) katódoldaltól vezérelhető (P vezérelt) típus  
 b) anódoldaltól vezérelhető (N vezérelt) típus

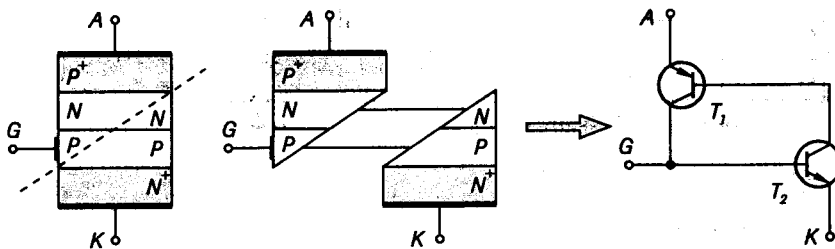


**9.6. ábra.** Tirisztorok áramköri jelölése  
 a) a tirisztor általában  
 b) katódoldaltól vezérelhető tirisztor  
 c) anódoldaltól vezérelhető tirisztor

A tirisztor tehát három elektródával ellátott négyrétegű félvezető eszköz, ami miatt *tirisztortriódának* is nevezik. Az elektródák elnevezése:

- anód ( A ),
- katód ( K ),
- és a vezérlőelektróda, vagy kapu ( G ).

A vezérlőelektróda csatlakoztatási pontjától függően megkülönböztetünk, *P vezérelt* vagy *katódvezérlésű tirisztorokat*, és *N vezérelt* vagy *anódvezérlésű tirisztorokat*. A gyakorlatban általában katódvezérlésű tirisztorokat alkalmaznak, ezért ezt a típust helyezzük előtérbe a továbbiakban. A tirisztor leegyszerűsítve két tranzisztorral modellezhető és ennek alapján működése is egyszerűen követhető (9.7. ábra).

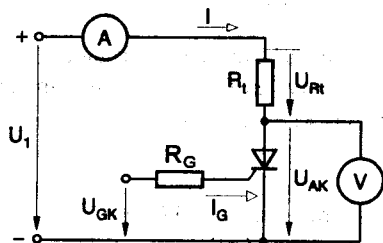


**9.7. ábra.** A tirisztor felosztása két tranzisztorra és tranzisztoros helyettesítő kapcsolása

A tirisztor anód-katód feszültség ( $U_{AK}$ ) iránya szerint megkülönböztetünk *záróirányú* és *nyitóirányú* kapcsolást. Záróirányú előfeszítés esetén az anódra a tápfeszültség negatív sarka van kapcsolva és a tirisztor megőrzi nagy ellenállású állapotát. Ha az  $U_{AK}$  feszültség túllépi a megengedett legnagyobb értéket, a tirisztor tönkremegy.

Vezetési irányú működés esetén az anód pozitív feszültséget kap a katódhoz képest. Ha a kapuelektroda nincs bekötve, az  $U_{AK}$  feszültséget növelve egy bizonyos feszültségértéken a tirisztor átkapcsol kis ellenállású állapotba. Azt a feszültséget, amelyen nyitott vezérlőelektroda mellett a tirisztor kis ellenállású állapotba kapcsol át,  $U_{B0}$  *nullátmeneti billenőfeszültségnek* nevezzük. Ez a feszültség a négyrétegű dióda  $U_B$  billenési feszültségének felel meg.

Ha a tirisztor kapuelektrodája ( $G$ ) a katódhoz ( $K$ ) képest pozitív feszültséget kap kinyitja a  $T_2$  NPN tranzisztort melynek kollektorárama nyitja a  $T_1$  PNP tranzisztort. A két tranzisztor kölcsönösen vezérli egymást és lavinyszerűen telítésbe kerülnek, vagyis a tirisztor átbillen kis ellenállású állapotába. Minél nagyobb a kapuelektroda vezérlőfeszültsége ( $U_{GK}$ ) és ezzel a vezérlőáram ( $I_G$ ), annál kisebb anód-katód feszültségnél következik be az átbillenés kis ellenállású állapotba. Megállapítható, *hogy a tirisztor bekapcsolási szintje a kapuelektroda segítségével vezérelhető.*



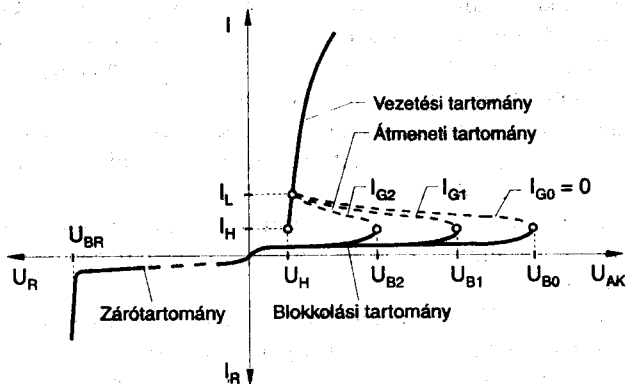
9.8. ábra. A tirisztor jelleggörbéjének meghatározására alkalmas kapcsolás

Miután a tirisztor bekapcsol, megmarad ebben az állapotban függetlenül a kapuelektroda potenciáljától. Ez a tény különbözteti meg alapvetően egy tirisztor kapuelektrodájának szerepét (a bekapcsolás vezérlése) egy tranzisztor bázisának szerepétől (a kollektoráram értékének szabályozása). A 9.8. ábra egy tirisztor áramfeszültség jelleggörbéjének meghatározására alkalmas kapcsolást mutat. A 9.9. ábra a tirisztor karakterisztikáját szemlélteti különböző  $I_G$  kapuáramok esetén. A tirisztor kapuvezérlés nélküli átkapcsolását, az  $I_G = 0$  vezérlőáramnak megfelelő jelleggörbe szemlélteti.

A tirisztor nagy ellenállású állapotban van mindaddig, amíg anód-katód feszültsége túl nem lépi az  $U_{B0}$  *billenési feszültséget* és anódárama el nem éri az  $I_L$  *reteszelési áramértéket*. Ebben az állapotban az anódáramot csak az  $R_t$  ellenállás korlátozza. A vezetés megszüntetésére két lehetőség kínálkozik:

- az anódáram csökkentése az  $I_H$  tartóáram értékére;
- az anódfeszültség negatív polaritásának biztosítása a tirisztor úgynevezett  $t_{ki}$  *szabaddá válási idejével megegyező időtartamig.*

A tirisztor billenési feszültsége csökkenthető ( $U_{B1}$  és  $U_{B2}$ ), ha állandó anód-katód feszültség ( $U_{AK}$ ) mellett kapuelektrodája a katódhoz képest pozitív feszültséget kap ( $I_{G1}$  és  $I_{G2}$ ). A kapuelektroda vezérléséhez nem szükséges folytonos jel, elegendő egy megfelelő amplitúdójú és időtartamú (*legkisebb impulzusidő*) áramimpulzus.



9.9. ábra. A tirisztor feszültség-áram jelleggörbéi

## 9.2.2. Tirisztorok jellemző adatai és határértékei

Tirisztorok esetében igen nehéz feladat tipikus adatokat és határértékeket megadni, mivel rengeteg különböző típus van forgalomban, széles teljesítmény- és feszültségtartományban. Az alkatrészgyártók adatlapokat és katalógusokat bocsátanak ki erre a célra.

### Jellemző adatok

- $I_N$  • *névleges áram*: a tartósan megengedett vezetési áram számtani közepe;
- $I_H$  • *kritikus áram*: a vezetési áram legkisebb értéke, amely érték alatt a tirisztor nagy ellenállású állapotba billen át;
- $I_L$  • *reteszelési áram*: az anódáram minimális értéke amelyet a kapuelektrodát vezérlő pozitív impulzus időtartamig biztosítani kell, a tirisztor biztos gyújtásához;
- $I_{GT}$  • *gyújtóáram (bekapcsolási áram)*: a vezérlőáram azon minimális értéke, amely a tirisztor bekapcsolását biztosítja (tipikus értéke néhány száz mA);
- $t_{be}$  • *gyújtási idő (bekapcsolási idő)*: az az idő, amely a vezérlőimpulzus kezdetétől a tirisztor kis ellenállású állapotába való átkapcsolásáig eltelik;
- $t_{ki}$  • *kikapcsolási idő*: az az idő, amely az áram nullátmenetétől a zárási állapot kialakulásáig eltelik (lehetséges értékei 3  $\mu$ s és 200  $\mu$ s között vannak);
- $U_{B0}$  • *billenési feszültség*: az anód-katód feszültség azon értéke, amely esetén a tirisztor nyitott kapuelektroda ( $I_G = 0$ ) mellett bekapcsol;
- $R_{thG}$  • a záróréteg és a tok közötti *hőellenállás*;
- $R_{thU}$  • a záróréteg és a környezeti levegő közötti *hőellenállás*.

### Határértékek

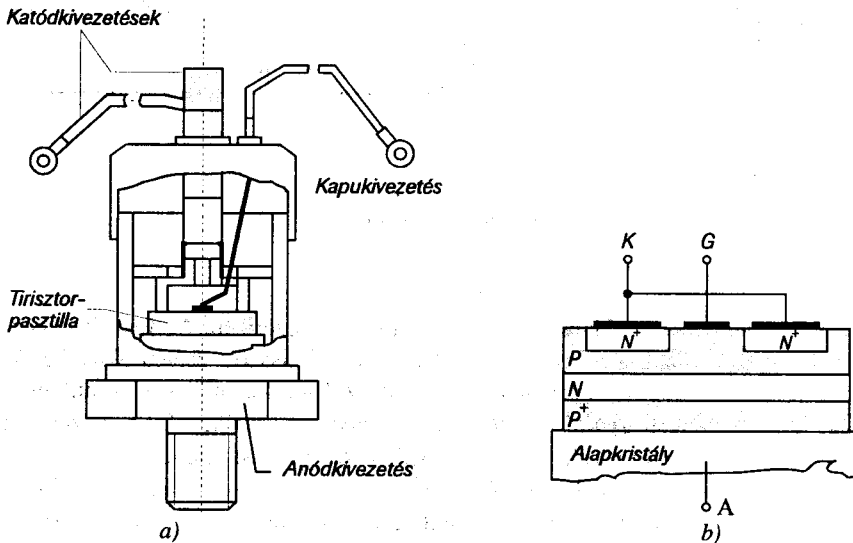
- $U_{RSM}$  • *nem ismételtető negatív zárófeszültség csúcserőrtéke*: a zárófeszültség legnagyobb értéke, amit a tirisztor alkalmi jelleggel, rövid ideig (kb. 100  $\mu$ s) elvisel;
- $U_{RRM}$  • *ismételtető negatív zárófeszültség csúcserőrtéke*: a zárótartományban megengedett legnagyobb periodikus feszültség értéke;

- $U_{DSM}$  • *nem ismételtető pozitív zárófeszültség csúcserőrtéke*: a pozitív polaritású feszültség legnagyobb értéke, amelyet a tirisztor alkalmi jelleggel, rövid ideig (kb. 100  $\mu$ s) elvisel, károsodás nélkül;
- $U_{DRM}$  • *ismételtető pozitív zárófeszültség csúcserőrtéke*: a blokkolási tartományban megengedett legnagyobb periodikus feszültség értéke;
- $I_T$  • *tartós egyenáram*: a legnagyobb megengedett egyenáram, amely a tirisztoron tartósan átfolyhat;
- $I_{TRM}$  • *legnagyobb periodikus csúcserőrtéke*: a vezetési áram legnagyobb megengedett értéke egy periódus alatt;
- $P_{GM}$  • *maximális vezérlőteltjesítmény*: a legnagyobb megengedett vezérlőteltjesítmény értéke;
- $T_{jmax}$  • *maximális záróréteg hőmérséklet*: túllépése a félvezető tönkremeneteléhez vezet.

### 9.2.3. A tirisztor szerkezete

Elvileg a tirisztor előállításának kiindulási anyaga egy  $N$  vagy  $P$  típusú félvezető szilícium lapka, amelyben tisztán *diffúziós eljárással*, vagy *diffúziós és ötvözési eljárással* alakítják ki a négyrétegű  $PNPN$  félvezető szerkezetet. A korszerűbb, tisztán diffúziós módszer sokkal jobb paraméterekkel rendelkező tirisztorok előállítását teszi lehetővé. Ez a nagyobb elérhető üzemi feszültségben és áramban, valamint a tirisztorok jellemzőinek a felhasznált anyagok minőségétől való kis függőségében nyilvánul meg.

A 9.10. ábra egy teljesítménytirisztor metszetét mutatja, amelyben  $N$  típusú  $Si$  alapkristályt felhasználva hozzák létre tisztán diffúziós eljárással a két szélső  $P$  szennyezésű réteget.



9.10. ábra. Teljesítménytirisztor felépítése

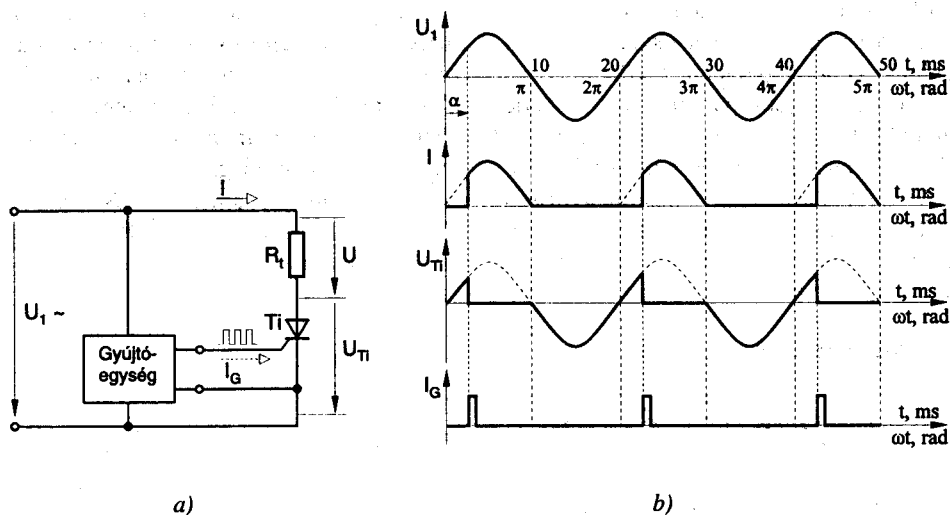
a) a tirisztorház metszete b) a tirisztorpasztilla metszete

## 9.2.4. Tirisztorok alkalmazása

### Tirisztorok alkalmazása váltakozó áramú körben

A tirisztor működés közben egy kapcsolóhoz hasonlítható, amelynek bekapcsolása (*gyújtása*) és kikapcsolása (*oltása*) olyan frekvenciával és logika szerint történik, amelyet az általa vezérelt fogyasztó megkövetel. A bekapcsolás a kapuelektrodára adott *megfelelő polaritású, elegendően nagy és elegendően hosszú ideig tartó áramimpulzussal* vagy feszültségimpulzussal biztosítható. Bekapcsolt állapotban a tirisztor vezérlőelektrodája hatástalanná válik. Kikapcsolása csak a kritikus áramnál kisebb anódáram esetén lehetséges. *Váltakozó áramú körökben a tirisztor kikapcsolása a váltakozó áram valamelyik nullátmenetének közelében következik be.*

A váltakozó áramú körökben használt hagyományos tirisztorok oltásának elvi módszerét a 9.11. ábra szemlélteti. Az áramkör tulajdonképpen egy *vezérelt egyenirányító-kapcsolásnak* tekinthető.

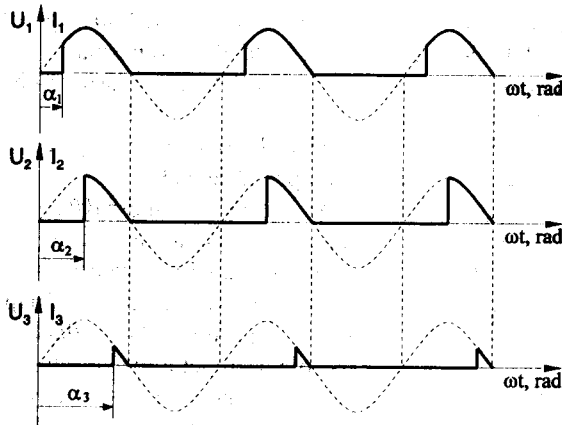


9.11. ábra. Tirisztor gyújtásvezérlése váltakozó áramú körben  
a) elvi vázlat b) jellemző hullámformák

Ha a tirisztor kapuelektrodáját periodikus impulzus vezérli az  $U_1$  feszültséghez képest adott fázishelyzetben, akkor a gyújtás meghatározott fázisszög esetén következik be. A gyújtás helyzetét (más szóval *késleltetését*) a tápfeszültség negatív-pozitív nullátmenetétől számítjuk. Az  $\alpha$  szöveget *gyújtáskésleltetési szögnek* nevezzük. Ha a vezérlőimpulzus fázishelyzetét megváltoztatjuk, akkor megváltozik az  $\alpha$  gyújtáskésleltetési szög értéke is, és a levágott félhullámok más alakot vesznek fel. Az  $R_l$  terhelésen fellépő feszültség annál kisebb lesz, minél nagyobb az  $\alpha$  gyújtáskésleltetési szög értéke. A tirisztor vezérlésének ezt a módszerét, *fázishasításos vezérlésnek* vagy *gyújtásszögvezérlésnek* nevezik.

A 9.12. ábra különböző gyújtáskésleltetési szögek esetén mutatja az áramkör jellemző hullámformáit.





9.12. ábra. Hullámformák különböző gyújtáskésedelmi szögek esetén

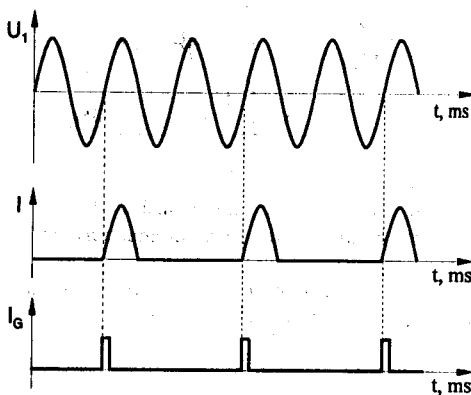
Megállapítható, hogy a gyújtáskésleltetés módszere:

- viszonylag gyors beavatkozást és folyamatos szabályozást tesz lehetővé.

Hátrányaként említhető, hogy különösen magas felharmonikusok keletkeznek (főleg nagy értékű gyújtáskésedelmi szögek esetén). Ezek a felharmonikusok:

- erős rádiófrekvenciás zavart hoznak létre;
- jelenlétiük többletvesztést eredményez.

A fázishasításos módszer az ismertetett hátrányok miatt nem előnyös nagy teljesítmények szabályozására. Ezeket a hátrányokat igyekszik kiküszöbölni a **perióduscsoport-szabályozási technika**, vagy más néven **félhullám-vezérlés**. A félhullám-vezérlés jellemző hullámformáit a 9.13. ábra mutatja.



16.13. ábra. A perióduscsoport-szabályozási technika kimeneti jelalakjai

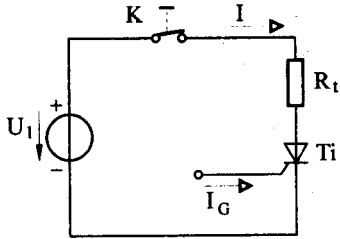
Megfigyelhető, hogy ebben az esetben a vezérlő impulzus fázishelyzete rögzített, de változtatható frekvenciájú. Ezzel elérhető, hogy a vezérelt tirisztor meghatározott pozitív félhullámok esetén nem gyújt be. A félhullámok zárásának, illetve átengedésének vezérlési logikája tetszőleges lehet. A terhelésen fellépő feszültség és teljesítmény annál kisebb, minél több pozitív félhullámot zárunk le. A félhullám-vezérlés módszere:

- viszonylag lassú beavatkozást tesz lehetővé (minimálisan fél periódusidejű a késedelem);
- a szabályozás csak fokozatokban történhet, viszont előnye, hogy kevesebb felharmonikus állít elő.

Ezért ezt a vezérlési technikát nagyobb teljesítmények szabályozására használják.

**Tirisztorok alkalmazása egyenáramú körben**

A tirisztorokat egyenáramú áramkörökben érintkező nélküli kapcsolóként alkalmazzák. Bekapcsolásuk a kapuelektroda vezérlésével történik, kikapcsolásuk viszont nehézségekbe ütközik, mivel nincs olyan természetes hatás, amely kikapcsolásuk érdekében az áramukat a *kritikus áramérték* alá csökkentené.

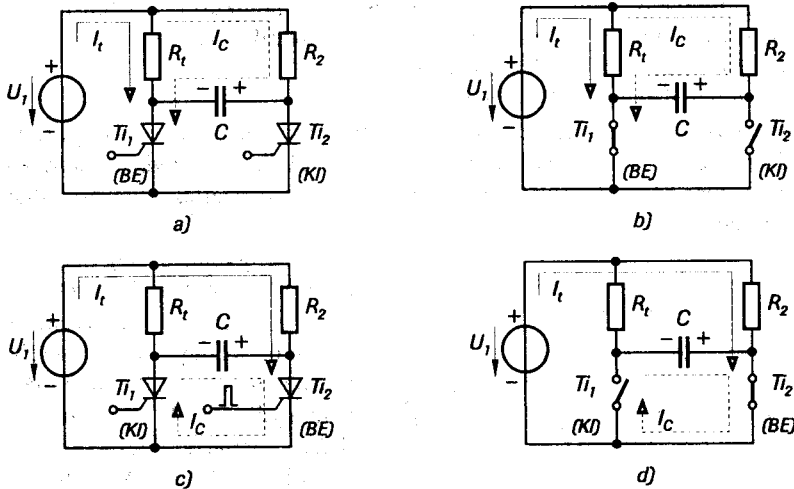


9.14. ábra. Tirisztor oltása az anódáram megszakításával

Egyenáramú körökben egy hagyományos tirisztor oltása kétféleképpen történhet:

- 1) Az áramkör megszakítása (9.14. ábra): a  $K$  kapcsoló nyitása az anódáram megszűnését (tehát, az  $I_H$  kritikus áramérték alá csökkenését) eredményezi és a kezdetben kis ellenállású állapotban levő tirisztor átbillen nagy ellenállású állapotba. A  $K$  mechanikus kapcsoló szerepét a gyakorlatban egy másik félvezető kapcsoló-eszköz tölti be (pl. egy másik tirisztor).
- 2) Záróirányú feszültség kapcsolása az anód és a katód közé. Ez a feszültség a bekapcsolt tirisztor anód áramával ellentétes irányú áramot hoz létre.

A módszert, amely hasonló a tirisztor váltakozó áramú körökben használt oltásával (lásd a 9.10. ábrát), a 9.15. ábra szemlélteti.



9.15. ábra. Hagományos tirisztor oltása záróirányú anód-katód feszültség alkalmazásával  
 a) a  $Ti_1$  főtirisztor bekapcsolt állapotú (a  $Ti_2$  lekapcsolótirisztor kikapcsolva) és b) az egyszerűsített áramköri modell  
 c) a  $Ti_2$  tirisztor bekapcsolási pillanata, amely biztosítja a  $C$  kondenzátor párhuzamos kapcsolódását a  $Ti_1$  főtirisztorra, kikapcsolása érdekében és d) a folyamat egyszerűsített áramköri modellje

A kapcsolás működése a következő:

- A kezdeti időpillanatban a  $Ti_1$  főtirisztor kis ellenállású bekapcsolt ("BE") állapotban, a  $Ti_2$  lekapcsolótirisztor pedig nagy ellenállású kikapcsolt ("KI") állapotban van. Következésképpen a  $C$  kondenzátor feltöltődik – az  $R_1$  ellenálláson és a  $Ti_1$  tirisztoron keresztül – az  $U_1$  tápfeszültség értékére a 9.15.b. ábrán jelölt polaritással.

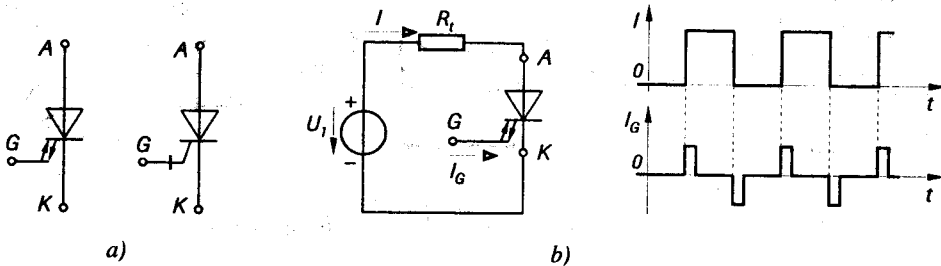
A  $T_{i1}$  tirisztor oltását a  $T_{i2}$  vezérlőelektródájára adott pozitív vezérlőimpulzus hozza létre (9.15.c. ábra.). A  $T_{i2}$  tirisztor bekapcsolása révén a  $C$  kondenzátor párhuzamosan kapcsolódik a  $T_{i1}$ -re. Ennek megfelelően, a  $T_{i1}$  tirisztorot záróirányban feszíti elő a  $C$  kondenzátor feszültsége (9.15.d. ábra.), amely a  $T_{i1}$  és  $T_{i2}$  kapcsolókon (tirisztorokon) keresztül bizonyos idő múlva kisül.

A  $C$  kondenzátor kisülési árama ellentétes irányú a  $T_{i1}$  tirisztor nyitóirányú áramával és a záróirányú polarizálás hatására a félvezető átbillen nagy ellenállású állapotba. Miközben a lekapsolótirisztor kis ellenállású állapotban ("BE") és a főtirisztor nagy ellenállású állapotban van, a  $C$  kondenzátor  $U_1$  feszültség szintre töltődik, de ellentétes polaritással, mint az ábrán. A folyamat újrakezdődik, ha  $T_{i1}$  főtirisztor ismét gyújtóimpulzust kap a kapuelektródájára. Ilyen típusú gyújtóköreket alkalmaznak akkumulátoros hajtású járművekben (pl. a villamos targoncákban).

### 9.3. Vezérlőelektródával kikapcsolható tirisztor (GTO $\equiv$ Gate Turn-Off Thyristor)

A vezérlőelektródával kikapcsolható tirisztor (*GTO tirisztor*) egy olyan PNPN szerkezetű kapcsolóeszköz, amelynek gyújtása és oltása a vezérlőelektródára kapcsolt pozitív, illetve negatív vezérlőimpulzusok segítségével történik. Szerkezete a hagyományos tirisztorhoz viszonyítva bonyolultabb és néha két külön vezérlőelektródával rendelkezik, amely közül az egyik a *gyújtóelektróda* a másik az *oltóelektróda*.

A GTO tirisztor áramköri rajzjeleit és vezérlését egyenáramú körben a 9.16. ábra mutatja.



9.16. ábra. GTO tirisztor

a) áramköri jelölése b) működése és jellemző hullámformái, érintkező nélküli kapcsolóként egyenáramú körben

A vezérlőelektródával kikapcsolható tirisztorok olyan vezérelhető, félvezető alapú kapcsolóeszközöknek számítanak, amelyek az 1980-as évek után szédületes fejlődésen mentek keresztül. A kezdeti néhány száz volt záróirányú feszültséggel és tíz amper nagyságrendű névleges árammal rendelkező típusok után eljutottak olyan GTO tirisztorok előállításáig, mint például a japán Hitachi cég által gyártott GFP 2000 B25 típus, amelynek néhány jellemző adata a következő:

- negatív csúcs-zárófeszültség
- tartós határáram
- tartós egyenáram

$$U_{DRM} = 2555 \text{ V};$$

$$I_{TAV} = 2000 \text{ A};$$

$$I_T = 800 \text{ A};$$

- a gyújtóáram  $I_{GT} = 0,8 \text{ A};$
- gyújtási idő  $t_{be} = 6 \mu\text{s};$
- kikapcsolási idő  $t_{ki} = 30 \mu\text{s};$
- záróréteg-hőmérséklettartomány  $T_j = -40 + +125 \text{ }^\circ\text{C}.$

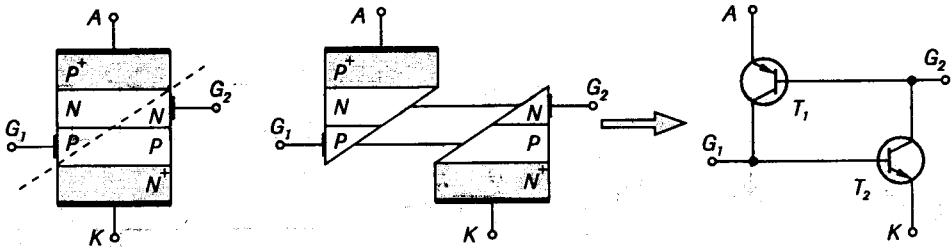
A *GTO* tirisztorok előnyei – a vezérlő áramkörök bonyolultságát és karakterisztikáit figyelembe véve – más kapcsolóeszközökhöz viszonyítva különösen a 2000 V/ 100 A teljesítményszintek felett jelentkeznek. Fő alkalmazási területei a következők:

- érintkező nélküli kapcsolók, szaggatók, tápegységek, inverterek, váltakozó áramú motorok szabályozási rendszere, melegítő berendezések, stb.

## 9.4. Tirisztortetrádák ( SCS )

### 9.4.1. Felépítés és működésmód

A tirisztortetróda egy olyan négyrétegű tirisztor szerkezet, amelynek anódoldali és katódoldali kapuelektrodáját is kivezették. A tirisztor továbbfejlesztett változatának tekinthető. A felépítését és tranzisztoros helyettesítő kapcsolási rajzát a 9.17. ábra mutatja. Működésének jellegzetessége, hogy gyújtása illetve oltása mindkét vezérlőelektrodáján keresztül kiváltható.

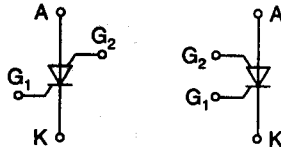


9.17. ábra. A tirisztortetróda felépítése és tranzisztoros helyettesítő kapcsolása

A tirisztor egyik előnytelen tulajdonsága az volt, hogy a gyújtást követően a vezérlőelektroda hatástalan maradt. A tirisztortetróda hasonlóan a *GTO* tirisztorhoz, a vezérlőelektrodákon ( $G_1$  és  $G_2$ ) keresztül oltható és gyújtható a következőképpen:

- a  $G_1$  vezérlőelektrodáról: – pozitív impulzussal gyújtható ( kis ellenállású állapot),  
– negatív impulzussal oltható ( nagy ellenállású állapot).
- a  $G_2$  vezérlőelektrodáról: – negatív impulzussal gyújtható,  
– pozitív impulzussal oltható.

A működés során a tirisztortetróda választhatóan a  $G_1$  vagy a  $G_2$  vezérlőbemenetekkel, vagy egyidejűleg mindkettővel kapcsolható. A tirisztortetróda szabványos rajzjeleit a 9.18. ábra szemlélteti.



9.18. ábra. A tirisztortetróda rajzjele

## 9.4.2. Jellemző adatok és határértékek

A tirisztortetródák jellemző adatai és határértékei hasonlóak a kisebb teljesítményű tirisztorok adatainak és határértékeinek. Gyakorlati felhasználás szempontjából igen lényeges tulajdonságuk, hogy kisebb kapcsolási időkkal ( $t_{be}$ ,  $t_{ki}$ ) rendelkeznek, mint az azonos teljesítményű tirisztorok.

## 9.4.3. A tirisztortetróda alkalmazása

A tirisztortetródákat főleg kis áramerősségű vezérlő áramkörökben, gyújtókörokben alkalmazzák. Korszerű technológiával olcsón gyárthatók és integrálhatók. Mivel kapcsolási idői kisebbek, mint a hasonló paraméterekkel rendelkező tirisztoroké, gyakran alkalmazzák a digitális technika különböző területein, ahol számláló- és tárolóáramkörök, valamint impulzusgenerátorok felépítésében vesznek részt.

## 9.5. Váltakozó áramú kapcsolódióda

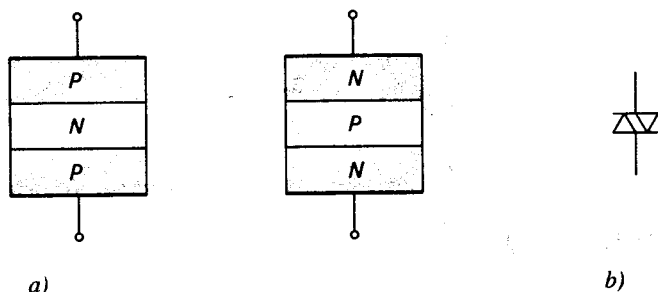
A diac (**Diac**  $\equiv$  *Diode alternating current switch*) kétirányú, félvezető kapcsolóeszköz. Két stabil üzemi állapota van, egy nagy ellenállású állapot, amelyet zárési vagy blokkolási állapotnak is neveznek és egy kis ellenállású állapot, amelyet vezetési állapotnak is neveznek. A vezetési állapotba való átmenet a rákapcsolt feszültség polaritásától függetlenül egy meghatározott  $U_{B0}$  feszültségnél, az úgynevezett *áttörési feszültségnél* következik be.

A diac előállítása három- és ötrétegű félvezetőeszköz formájában történik. A háromrétegű félvezetőeszközt *kétirányú diódának*, az öt félvezető réteggel rendelkezőt pedig, *kétirányú tirisztordiódának* nevezik.

### 9.5.1. Kétirányú dióda

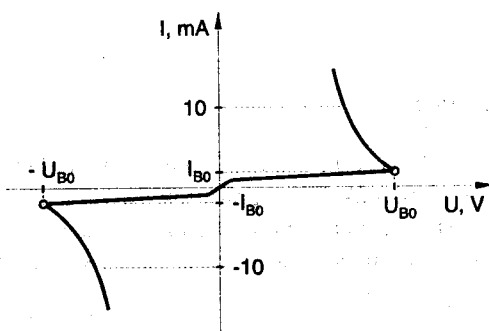
#### Felépítés és működés

A kétirányú dióda háromrétegű szimmetrikus PNP-, vagy ritkábban NPN-szerkezetű félvezetőeszköz, amelynek felépítése a bipoláris tranzisztoréhoz hasonló (9.19. ábra). A két PN-átmenet közül az egyik záróirányban, a másik nyitóirányban üzemel, függetlenül a félvezetőre kapcsolt feszültség irányától.



9.19. ábra. Kétirányú dióda  
a) elvi felépítése b) áramkörü jelölése

A kétirányú dióda működése a záróirányban polarizált  $PN$ -átmenet lavinaletörésén alapszik, amely egy adott  $U_{B0}$  feszültségen következik be.



9.20. ábra. A kétirányú dióda áram-feszültség jelleggörbéje

A kétirányú dióda áram-feszültség jelleggörbéjét a 9.20. ábra szemlélteti. A kis ellenállású állapotba való átmenet a rákapcsolt feszültség polaritásától függetlenül, mindkét irányban megközelítően azonos feszültségen következik be. A  $+U_{B0}$  és  $-U_{B0}$  abszolút értéke közötti eltérést, amelynek lehetőleg kicsinek kell lennie, *szimmetria-eltérésnek* nevezzük. A négyrétegű dióda vezetési állapotból visszakapcsol zárási állapotba, ha feszültsége egy bizonyos érték, az  $U_H$  *kritikus feszültség* alá csökken.

### Jellemző adatok és határértékek

A kétirányú dióda egy kis teljesítményű félvezető kapcsolóeszköz, amely általában miniatűr dióda-tokozású kivitelben készül. Impulzusteknikai áramkörök tervezésénél, illetve készítésénél nagyon lényeges paraméter a kapcsolóelem *átkapcsolási ideje*, amely a kétirányú diódánál igen kicsi értékű.

#### Jellemző adatok

- $U_{B0}$  áttörési feszültség (tipikus értéke,  $U_{B0} \approx 32$  V);
- $I_{B0}$  áttörési áram (tipikus értéke,  $I_{B0} \approx 50$   $\mu$ A);
- $U_H$  kritikus feszültség (tipikus értéke,  $U_H \approx 20$  V);
- $t_{be}$  átkapcsolási idő (tipikus értéke,  $t_{be} \approx 45$  ns);
- $S$  szimmetria-eltérés (tipikus értéke,  $S \approx \pm 3$  V).

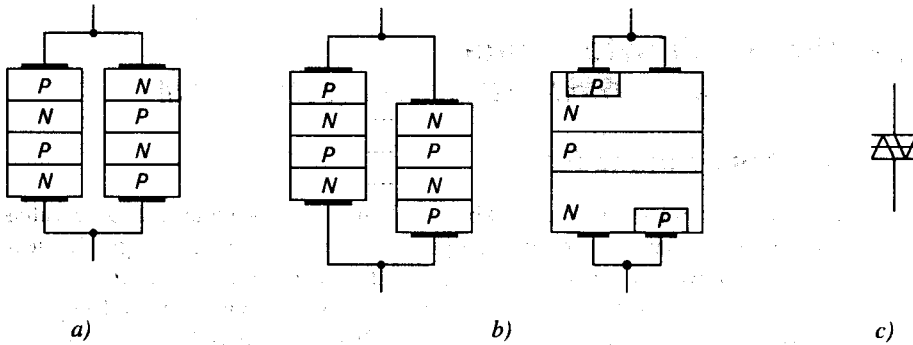
**Határértékek**

- $P_{to}$  legnagyobb megengedett veszteségi teljesítmény (tipikus érték,  $\approx 0,5 \text{ W}$ );
- $I_{p \max}$  legnagyobb megengedett impulzusáram ( tipikus értéke,  $I_{p \max} \approx 2 \text{ A}$ );
- $\theta_{j \max}$  legnagyobb tokhőmérséklet (tipikus érték,  $\theta_{j \max} \approx +100 \text{ }^\circ\text{C}$ );
- $\theta_{j \min}$  legkisebb tokhőmérséklet (tipikus érték,  $\theta_{j \min} \approx -40 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

**9.5.2. Kétirányú tirisztordiódák**

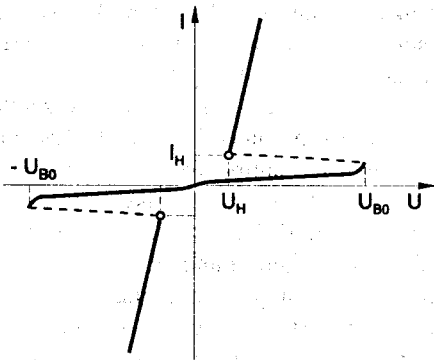
**Felépítés és működés**

A kétirányú tirisztordióda felépítésében és működésében is két négyrétegű dióda *antiparalell* (egymáshoz képest fordított irányú) kapcsolásának tekinthető, amelyet egyetlen közös félvezető kristályban állítottak elő. Felépítése és rajzjele a 9.21. ábrán látható.



**9.21. ábra.** Kétirányú tirisztordióda

a) két tirisztordióda antiparalell kapcsolása b) az antiparalell kapcsolású tirisztordiódák egyesítése egyetlen kristályban c) a kétirányú tirisztordióda rajzjele



**9.22. ábra.** A kétirányú tirisztordióda áram-feszültség jelleggörbéje

A kétirányú tirisztordiódák működése az antiparalell felépítésből következik. Váltakozó áramot kapcsolva a félvezető-eszközre, mindkét félperiódusban külön-külön a négyrétegű dióda jellegzetes tulajdonságait mutatja. Áram-feszültség karakterisztikáját a 9.22. ábra szemlélteti.

A kétirányú tirisztordióda bekapcsolásának feltétele: – a váltakozó áram bármely félperiódusára az  $U_{B0}$  billenési feszültség túllépése és legalább az  $I_H$  kritikus áram biztosítása.

A kritikus áramerősség alatti értéken, a félvezető visszkapcsol nagy ellenállású állapotába.

## Adatok és határértékek

A kétirányú tirisztordiódák adatai és határértékei megegyeznek a négyrétegű diódák adataival és határértékeivel. A kétirányú működés következménye, az *S szimmetria-el térés* ( $+U_{BO}$  és  $-U_{BO}$  feszültségek különbségének abszolút értéke), amely ennél a kapcsolóeszköznél legfeljebb 5 + 6 V értékű lehet.

### 9.5.3. A diac alkalmazásai

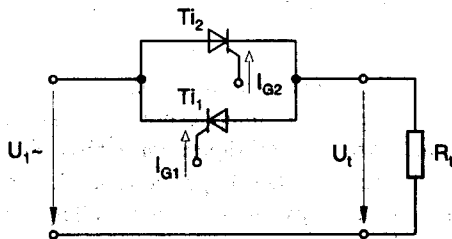
A diac-ot (a kétirányú diódát és a kétirányú tirisztordiódát), amely egyszerű felépítésű kétirányú kapcsolóeszköz, a *triac* vezérlésére dolgozták ki. Leginkább érintkező nélküli kapcsolóként alkalmazzák különböző gyújtó- és impulzustechnikai áramkörökben. Áramköri szempontból bekötése közömbös, mivel mind a két áramirányban ugyanúgy viselkedik és gyújtóimpulzusok előállítására képes a váltakozó áram mindkét félperiódusában.

## 9.6. Kétirányú tirisztortrióda

(Triac  $\equiv$  Triode AC semiconductor switch)

### 9.6.1. Felépítés és működés

Az erősáramú elektronikai alkalmazásokban gyakran van szükség arra, hogy a váltakozó áram mindkét félperiódusában vezérelni tudják az átfolyó áramot, és így úgynevezett *teljeshullámú AC szabályozást* valósítsanak meg. Kezdetben a teljeshullámú AC szabályozást két ellenpárhuzamosan kapcsolt tirisztorral, vagy egy egyenirányító diódahíd egyenáramú átlójában elhelyezett tirisztorral valósították meg. Ezek a megoldások nagymértékben bonyolították ezen szabályozók erősáramú részét és gyújtóegységét.



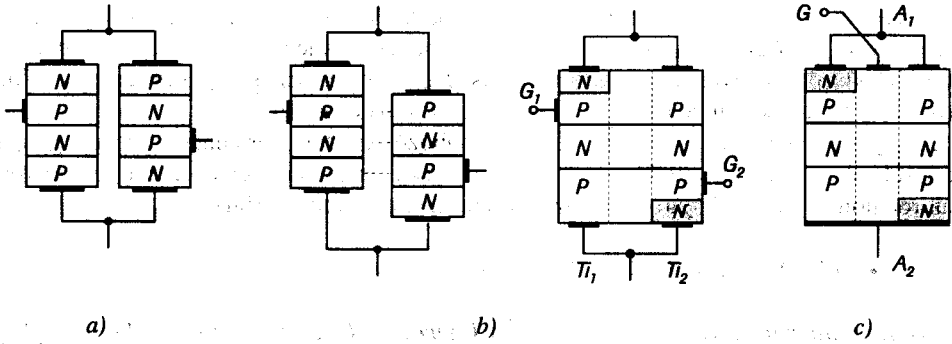
9.23. ábra. Két tirisztor antiparalell kapcsolásával megvalósított teljeshullámú szabályozó elvi felépítése

A 9.23. ábrán látható megoldásban a  $Ti_1$  tirisztor az egyik pl. pozitív félhullámokat, a  $Ti_2$  pedig a negatív félhullámokat vezérli. A kapcsolás működéséhez két vezérlőáram szükséges, ami növeli a gyújtókör költségét, csökkenti a teljesítményvezérlés gazdaságosságát és megbízhatóságát.

A triac egy kétirányú vezérelhető félvezető kapcsolóeszköz, amely úgy működik, mint két antiparalell kapcsolású, közös vezérlőelektrodával rendelkező tirisztor. A triac vezérlőelektrodáján keresztül a váltakozó áram mindkét félperiódusában

vezérelhető. Szerkezeti felépítése és származtatása két antiparalell kapcsolású tirisztor egy kristályban való elhelyezésével, a 9.24. ábrán látható. Hogy lehetővé váljon egyetlen kapuelektroda kialakítása, amely vezérelhető negatív és pozitív impulzusokkal, a  $Ti_2$  tirisztor  $G_2$  kapuelektrodájának a helyzetét kell megváltoztatni. A  $Ti_2$  tirisztor csak akkor válik vezérelhetővé, ha a kapuelektroda kivezetése alá egy kis méretű *N típusú réteget* visznek be (9.25.a. ábra).



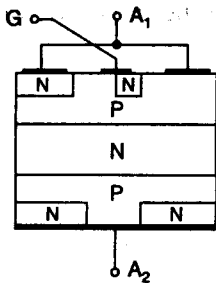


9.24. ábra. Tirisztorok antiparalell kapcsolása

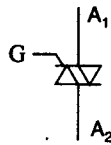
a) két tirisztor antiparalell kapcsolása b) az antiparalell kapcsolású tirisztorok egyesítése egyetlen kristályban c) közös vezérlőelektróda kialakítása a kristályban

A 9.25.b. ábra a triac szabványos áramköri rajzjeleit mutatja. Felépítéséből következően a triacnak három elektródája van, amelyeknek elnevezése a következő:

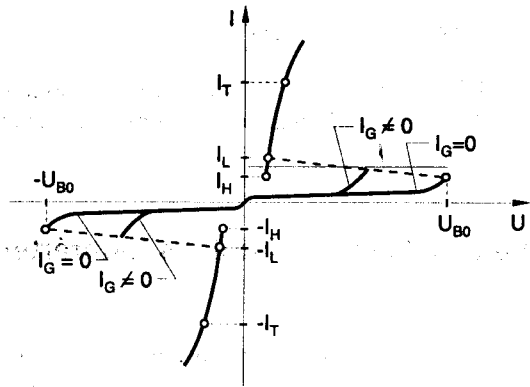
- $A_1$  1. anód, vagy felső anód (a kapu mellett helyezkedik el);
- $A_2$  2. anód, vagy tokenód (rendszerint az eszköz fémtokja);
- $G$  kapuelektróda, vagy gate.



a)



b)



9.25. ábra. A triac szerkezete (a) és rajzjele (b)

9.26. ábra. A triac áram-feszültség jelleggörbéje

A triac áram-feszültség jelleggörbéje a 9.26. ábrán látható. A tirisztorhoz hasonlóan, a triac karakterisztikáján is megkülönböztetünk az anódfeszültség mindkét irányában:

- vezetési tartományt,
- átmeneti tartományt,
- blokkolási tartományt.

Az eszközre váltakozó feszültséget kapcsolva, mindkét félperiódus billenési szintje vezérelhető.

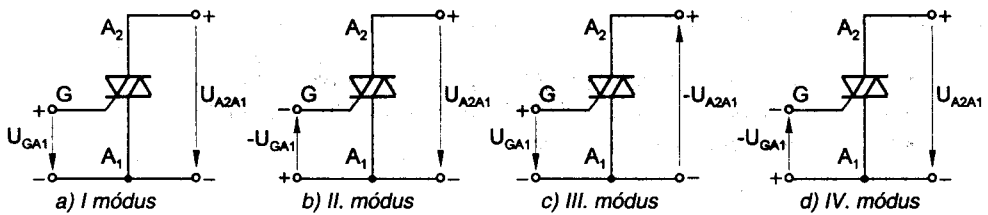
Mivel a triac mindkét polaritással működik, ezért a karakterisztika jellegzetes tartományai a zárótartomány kivételével mindkét síknegyedben megtalálhatók. A vezérlőelektróda a gyújtást követően hatástalanná válik és kikapcsolása csak akkor következik be, amikor anódárama az  $I_H$  kritikus érték alá csökken.

A nyitott állapotba vezérlés négy különböző módon történhet. Ezeket gyújtási módusoknak nevezzük (9.27. ábra). A gyújtási módusok elnevezései az európai szakirodalom jelölésével (zárójelben az amerikai szakirodalom szerint):

- I ( $I^+$ ); II ( $I^-$ ); III ( $III^-$ ); IV ( $III^+$ ).

Az **I. módusban** a triac a karakterisztika **I. térfegyedében** működik. Az  $U_{A2A1}$  és  $U_{GA1}$  pozitív. A **II. módusban** a vezérlőelektródára negatív feszültséget kapcsoltak.

A **II. módusban** a triac a karakterisztika **III. térfegyedében** működik. Az  $U_{A2A1}$  és  $U_{GA1}$  negatív. A **IV. módusban**  $U_{GA1}$  pozitív.



9.27. ábra. A triac gyújtási módusai

Megállapítható, hogy a triac az  $U_{A1A2}$  feszültség polaritásától függetlenül pozitív, vagy negatív  $U_{GA1}$  feszültséggel egyaránt nyitott állapotba vezérelhető.

### 9.6.2. Jellemző adatok és határértékek

#### Jellemző adatok

- $I_H$  • **kritikus áram** (tipikus érték  $I_H \approx 15$  mA);
- $I_{DROM}$  • **a zárási áram csúcserőteke**: az az áram, amely zárási állapotban, nyitott kapu-elektroda mellett átfolyik a triacon, ha a két anód közötti zárási feszültség maximális (tipikus értéke,  $I_{DROM} \approx 0,5$  mA);
- $I_{GT}$  • **kapu-triggeráram**: az a legkisebb kapu-áram, amelyen a triac vezetési állapotba kapcsol (tipikus értéke,  $I_{GT} \approx 20$  mA);
- $U_{GT}$  • **kapu-triggerfeszültség**: az  $I_{GT}$  kapu-triggeráram létrehozásához szükséges feszültség (tipikus értéke,  $U_{GT} \approx 1,2$  V);
- $t_{gt}$  • **bekapcsolási idő**: az az idő, amely egy meredek vezérlőimpulzus érkezésétől eltelik addig, amíg a vezetési áram a maximális értékének 90 % -át el nem éri (tipikus értéke,  $t_{gt} \approx 2$   $\mu$ s);
- $R_{thG}$  • **a záróréteg és a ház közötti hőellenállás**;
- $R_{thU}$  • **a záróréteg és a környezet közötti hőellenállás**.

**Határértékek**

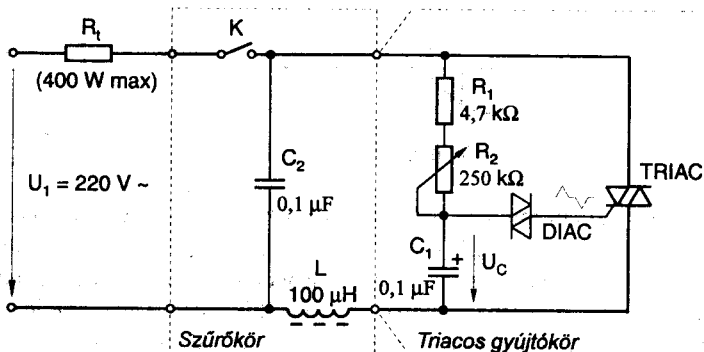
- $U_{DROM}$  • **a zárási feszültség periodikus csúcserőértéke:** az a legnagyobb feszültség, amely zárási állapotban, nyitott kapuelektroda mellett periodikusan a triac-ra kapcsolható anélkül, hogy vezetési állapotba kapcsolna (tipikus értéke,  $U_{DROM} \approx 400$  V);
- $I_T$  • **vezetési áram:** a legnagyobb megengedett tartós terhelőáram (tipikus értéke,  $I_T \approx 15$  A);
- $I_{TSM}$  • **impulzusszerű áram:** alkalmilag, meghatározott feltételek mellett és rövid ideig léphet fel (tipikus értéke 20 ms időtartamra,  $I_{TSM} \approx 100$  A);
- $I_{GTM}$  • **kapu-csúcsáram:** a vezérlőáram olyan értéke amely csak rövid ideig folyhat a kapu-áramkörben (tipikus értéke 1  $\mu$ s időtartamra,  $I_{GTM} \approx 4$  A);
- $T_j$  • **üzemi hőmérséklettartomány** ( tipikus értéktartomány,  $T_j \approx -60$  °C  $\pm$  100 °C).

**9.6.3. A triac alkalmazása**

A triac és a kétirányú triggerelemek együttműködése lehetővé teszi a váltakozó áramú teljesítmények egyszerű vezérlését és szabályozását. A gyújtókörök a szükséges kicsi vezérlőteljesítmények miatt kis teljesítményű félvezetőkkel, vagy speciális integrált áramkörökkel kivitelezhetők.

A triac-os szabályozó-áramkörök jól használhatók néhány kevésbé igényes alkalmazásban, mint amilyen a kis teljesítményű izzólámpa, elektromos fűtőtest vagy az egyfázisú váltakozó áramú motorok szabályozása. Ugyanakkor a triac eredményesen alkalmazható érintkező nélküli kapcsolóként különböző áramkörökben. Nem szabad elfelejteni, hogy valamennyi gyújtásszögvezérelt tirisztoros és triacos áramkör szükségszerű velejárója a rádiófrekvenciás (RF) zavarok keletkezése. Ezeknek a zavaroknak a kiküszöbölése további alkatrészek beépítését teszi szükségessé, amelyek növelik a kapcsolások tömegét, méreteit és előállítási költségeit.

A 9.28. ábrán, egy egyszerű teljesáramú szabályozó áramkör kapcsolási rajzát láthatjuk triac és diac felhasználásával.



9.28. ábra. Teljesáramú szabályozó diac és triac felhasználásával

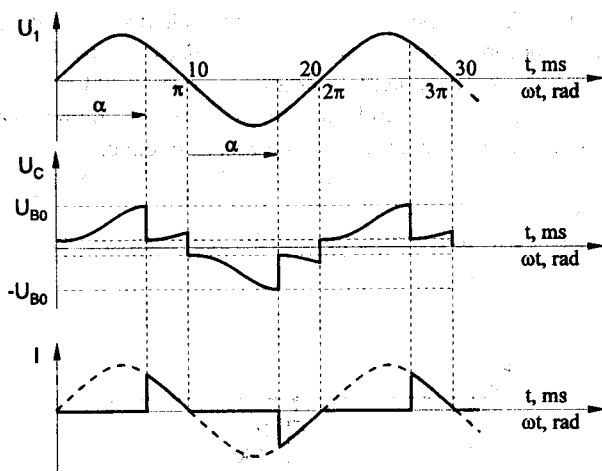
A kapcsolás tulajdonképpen két részre bontható: – *triacos gyújtókörre* és a zavarok csökkentésére alkalmazott  $C_2$  és  $L$  elemekből álló *zavarszűrőre*.

A  $C_1$  kondenzátor a triac nagy ellenállású állapotában az  $R_1$ ,  $R_2$  soros hálózaton keresztül feltöltődik és feszültsége billenti a diac-ot. Az ábrán jelölt polaritások a váltakozó  $U_1$  feszültség pozitív félperiódusára érvényesek. A  $C_1$  kondenzátor szerepe kettős:

- egyrészt *időzít* (más szavakkal fázist tol, vagy „gyújtást késleltet”);
- másrészt *energiát tárol* a triac gyújtásához.

Az időzítés nagysága, vagy a kondenzátor feltöltési sebessége az  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $C_1$  soros kapcsolás  $\tau$  időállandójától függ, melynek értéke:  $\tau = R_{\text{töltő}} \cdot C_1 = (R_1 + R_2) \cdot C_1$ . Az  $R_1$  áramhatároló védőellenállás az  $R_2$  szabályozó potenciométerrel beállítható legkisebb ellenállás értéket és az ennek megfelelő legkisebb időállandó értéket adja. A működés szükséges feltétele, hogy az  $U_1$  feszültség csúcserőve jóval nagyobb kell legyen, mint a triggerelem billenési szintje.

A teljeshullámú szabályozó jellemző hullámformáit a 9.29. ábra mutatja. Ezekből kitűnik, hogy a kimeneti feszültség és áram már nem szinuszos. Nagyszámú felharmonikust tartalmaznak, amelyeknek a frekvenciája a rádiófrekvenciás tartományig terjed. Ha a  $C_1$  kondenzátor kapcsain az  $U_C$  feszültség eléri a diac átbillenési feszültségét, akkor ez egy rövid impulzussal gyújtja a triacot és az  $R_1$  terhelést a hálózati feszültségre kapcsolja.



9.29. ábra. A teljeshullámú szabályozó jelalakjai

A begyújtott triac ezután mintegy leszöntöli az időzítő (vagy töltő) áramkört. A kondenzátor töltése hirtelen ( $1 \mu\text{s-on belül}$ ) és részlegesen kisül a triac kis ellenállású ( $\approx 50 \Omega$ ) vezérlőkörén keresztül. A triac vezetési állapota a váltakozó feszültség nullátmenetéig tart amikor nagy ellenállású állapotba kapcsol. A triac kikapcsolt állapotba idején a negatív félperiódus alatt a  $C_1$  kondenzátor ellentétes polaritással töltődik fel. Megfelelő  $U_C$  feszültség esetén a diac bebillen és a kondenzátor által szolgáltatott vezérlőimpulzus gyújtja ismét a triac-ot. Az  $R_2$  potenciométerrel állíthatjuk be a triac félhullámon belüli gyújtási időpontját, vagyis a  $\varphi$  gyújtáskésedelmi szöveget. Minél nagyobb  $R_2$  értéke, annál nagyobb a  $\tau$  időállandó és annál nagyobb a gyújtáskésedelmi szög értéke.

A  $\varphi$  szög értéke a gyakorlatban,  $5^\circ$  és  $180^\circ$  illetve,  $185^\circ$  és  $360^\circ$  között állítható be. Ezzel elérhető, hogy a terhelésen a teljesítményt folyamatosan tudjuk szabályozni közelítően nulla és a maximális érték között.

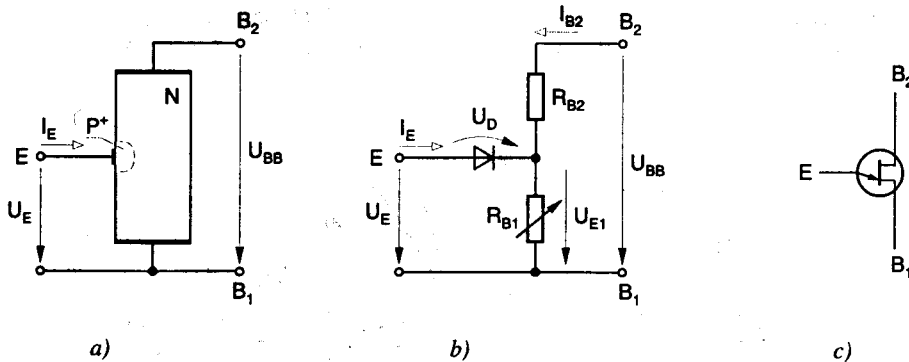
A tirisztoroknál említett hullámcsoport-vezérlés a triac esetén is alkalmazható. A triacal megoldott hullámcsomag-vezérlés pozitív és negatív félhullámot is átveszt. Minden egyes átvesztendő félhullámnál a triac-ot egy vezérlőimpulzussal a vezetési állapotba kell hozni. A hullámcsomag-vezérlés előnye, hogy felharmonikusokat alig hoz létre. Természetesen ebben az esetben nincs lehetőség a vezérelt teljesítmény fokozatmentes szabályozására, mint a fázishasításos-vezérlésnél.

## 9.7. Az egyátmenetű tranzisztor (UJT)

### 9.7.1. Az egyátmenetű tranzisztor felépítése és működési elve

Az egyátmenetű tranzisztor (angol nevén Unijunction Transistor, rövidítve: *UJT*) egyetlen *PN*-átmenetet tartalmaz. Felépítés szempontjából egy *N* (vagy *P*) típusú, szennyezett félvezető-hasábból áll, amelynek a két végére ohmos kontaktust készítenek és ezeket a  $B_1$ ,  $B_2$  kivezetéseket *bázisoknak* nevezik (9.30.a. ábra). Az *N*-típusú szilíciumkristályba erős  $P^+$ -típusú szennyezést visznek be, amelyet ohmos csatlakozással látnak el és *E emitter kivezetésnek* neveznek.

Az emitter mindegyik bázissal egy hagyományos diódát alkot és a két bázis közötti ellenállás, amely két ellenállás soros kapcsolásával helyettesíthető, kb.  $4 + 10 \text{ k}\Omega$  nagyságú (9.30.b. ábra).



9.30. ábra. Az egyátmenetű tranzisztor  
 a) szerkezeti felépítése b) helyettesítő kapcsolása c) rajzjele

Ha az egyátmenetű tranzisztor  $U_{BB}$  feszültsége túlhalad egy bizonyos értéket (általában,  $U_{BB} > 3 \text{ V}$ ), az *N* szennyezettségű alapkristály hossza mentén levő feszültségeloszlás lineárisnak tekinthető, ezért az  $R_{B2}$  ellenállásra jutó feszültség ( $U_{E1}$ ) a feszültségosztásból kiszámítható.

Az  $\eta$  belső feszültségosztási tényező:

$$\eta = \frac{U_{E1}}{U_{BB}} = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} \approx 0,5 \div 0,8.$$

A belső feszültségosztási tényező az alapkristály geometriai méreteitől függ, ezért igen stabil az eszközre jellemző paraméter. A 9.31. ábra az egyátmenetű tranzisztor  $I_E = f(U_E)$  jelleggörbéjét és a meghatározására alkalmas kapcsolást mutatja.

A karakterisztika három tartományra bontható:

1. **Lezárási tartomány (I.  $U_E < \eta \cdot U_{BB} + U_D$ ):** a PN-átmenet zárva marad, csak a dióda záróirányú árama folyik.

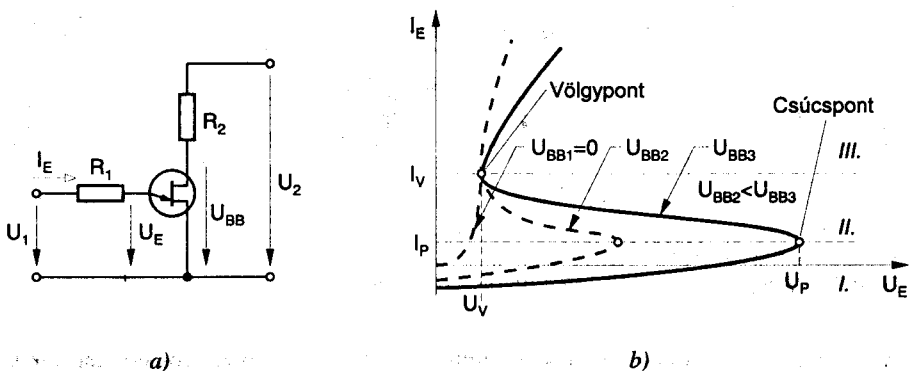
2. **Negatív ellenállású tartomány (II.  $U_E \geq U_{EP} > \eta \cdot U_{BB} + U_D$ ):** a PN-átmenet kinyit és lyukakat injektál az N-típusú kristályba, aminek következtében az  $I_E$  áram nő és az  $R_{B1}$  ellenállás értéke lecsökken. Az  $U_{E1}$  leosztott feszültség ennek következtében csökken és így a dióda nyitóirányú feszültsége nő. Ez egy lavinászerűen önmagát erősítő folyamat, amely során a vezetőképesség növekedése egy *negatív ellenállású szakaszon* történik.

3. **Telítési tartomány (III.):** a negatív ellenállású szakasz végén ( $U_T - I_T$ ) az emitteráram meredeken emelkedik és az eszköz védelme érdekében feltétlenül korlátozni kell.

Megfigyelhető, hogy az  $U_{BB}$  feszültség nagysága erősen befolyásolja az emitter-jelleggörbe alakját;  $U_{BB} = 0$  feszültség esetén alakja megegyezik egy hagyományos dióda jelleggörbéjének alakjával.

Az egyátmenetű tranzisztor egy *kétállapotú eszköz*, vagyis két stabil állapottal rendelkezik: egyik nagy ellenállású állapot (az I. tartományban), a másik kis ellenállású állapot (a III. tartományban). A két állapot közötti átmenet egyik irányban akkor következik be, ha az emitter-feszültség túllépi az  $U_P$  *csúcsponthi feszültséget*, a másik irányban pedig, ha az emitter-feszültség az  $U_V$  *völgyponthi feszültség* alá süllyed.

A csúcsponthi- és a völgyponthi feszültség és áram az *UJT* nagyon fontos jellemzője: a csúcsponthi áram értéke:  $I_P \approx 2 + 25 \mu A$ , a völgyponthi áram pedig  $I_V \approx 1 + 8 \text{ mA}$ .



9.31. ábra. Az egyátmenetű tranzisztor jelleggörbéi  
 a) a jelleggörbék felvételére alkalmas kapcsolás  
 b) jelleggörbék

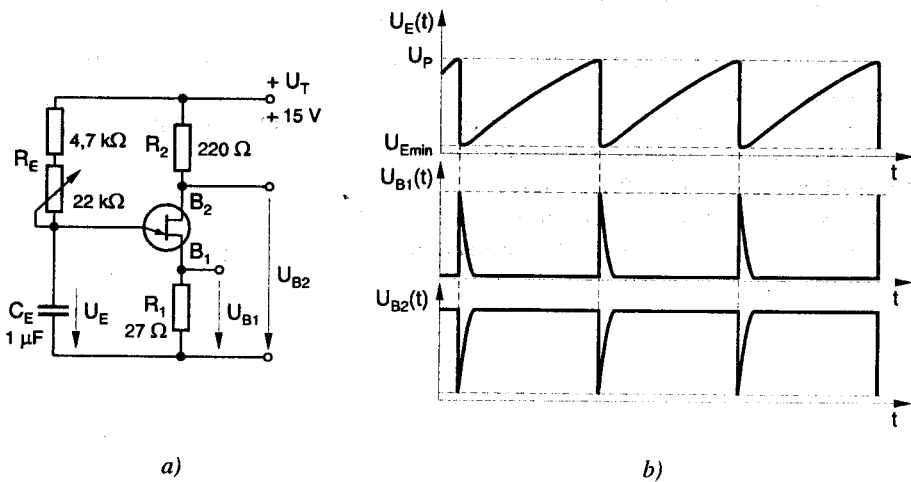
### 9.7.2. Az egyátmenetű tranzisztor alkalmazásai

Az egyátmenetű tranzisztorok sajátos alkalmazási területein az alábbi legfontosabb elektromos jellemzői, ill. kedvező tulajdonságai közül legalább egyet hasznosítanak:

- stabil  $U_P$  billenőfeszültség, amely a bázisokra kapcsolt feszültségnek egy leosztott része;
- a billenéshez nagyon kis értékű  $I_P$  áram szükséges;
- a hőmérséklet és az idő függvényében stabil negatív ellenállású jelleggörbe;
- nagy áramimpulzussal való terhelhetőség;
- kis előállítási költség.

Az egyátmenetű tranzisztorok említett tulajdonságai igen előnyösen használhatók tirisztorok gyűjtőegységeiben, oszcillátorokban (rezgékeltőkben), időzítő-áramkörökben, bistabil körökben és különböző multivibrátorokban.

A 9.32. ábra UJT felhasználásával készített impulzusgenerátor kapcsolását és jellemző hullámformáit mutatja. Az  $U_{B1}(t)$  kimeneti jelalak nagyon jól használható tirisztorok vezérlésére.



9.32. ábra. Egyátmenetű tranzisztorral készített relaxációs oszcillátor  
a) kapcsolási rajz b) jellemző jelalakok

A kapcsolás működése a következő:

- Az  $U_T$  tápfeszültség bekapcsolását követően az emitterátmenet záróirányú előfeszítést kap és a  $C_E$  kondenzátor az  $R_E$  (soros) ellenállásokon keresztül exponenciális jelleggel töltődik.
- Abban a pillanatban, amikor a kondenzátor feszültsége eléri az  $U_P$  csúcsponti feszültséget, az UJT  $E - B_1$  közötti ellenállása ( $R_{B1}$ ) hirtelen több nagyságrenddel csökken, és a kondenzátor megfelelő időállandóval kisül az  $R_{B1}$  és  $R_1$  soros eredőjén.

- A  $B_1$  kivezetésen ennek következtében nagy energiájú pozitív impulzus lép fel. Ugyanakkor a  $B_2$  kivezetésen negatív feszültség-impulzus keletkezik.
- Ha a kondenzátor kisülése közben az emitterfeszültség az  $U_{Emin}$  érték alá csökken (kb.  $1,2 + 2,5$  V), megszűnik az emitterátmenet vezetése, és az *UJT* visszabilen a lezárási tartományba.

Az előzőekben vázolt folyamat, ha a működési feltételek adottak, periodikusan ismétlődik.

### Összefoglaló kérdések:

1. Milyen tartományok különböztethetők meg a négyrétegű dióda áram-feszültség jelleggörbéjén?
2. Mi a kritikus áram és a kritikus feszültség?
3. Mi a különbség az anódvezérlésű és a katódvezérlésű tirisztorok között?
4. Milyen jellemző adatai vannak a tirisztoroknak?
5. Hogyan működik a fázishasításos-vezérlés?
6. Mi a perióduscsoport-vezérlés?
7. Milyen problémák merülnek fel a tirisztorok egyenáramú alkalmazásánál és hogyan lehet ezeket megoldani?
8. Hasonlítsa össze a GTO tirisztor működését a hagyományos tirisztoréval!
9. Miben különbözik a diac a négyrétegű diódától?
10. Miben különbözik a triac a tiriszortól?
11. Milyen gyújtási módusai vannak a triac-vezérlésnek?
12. Mi a működési elve az egyátmenetű tranzisztornak?