

# ELEKTROONIKA ALUSED

## 8.1. Pooljuhtseadised

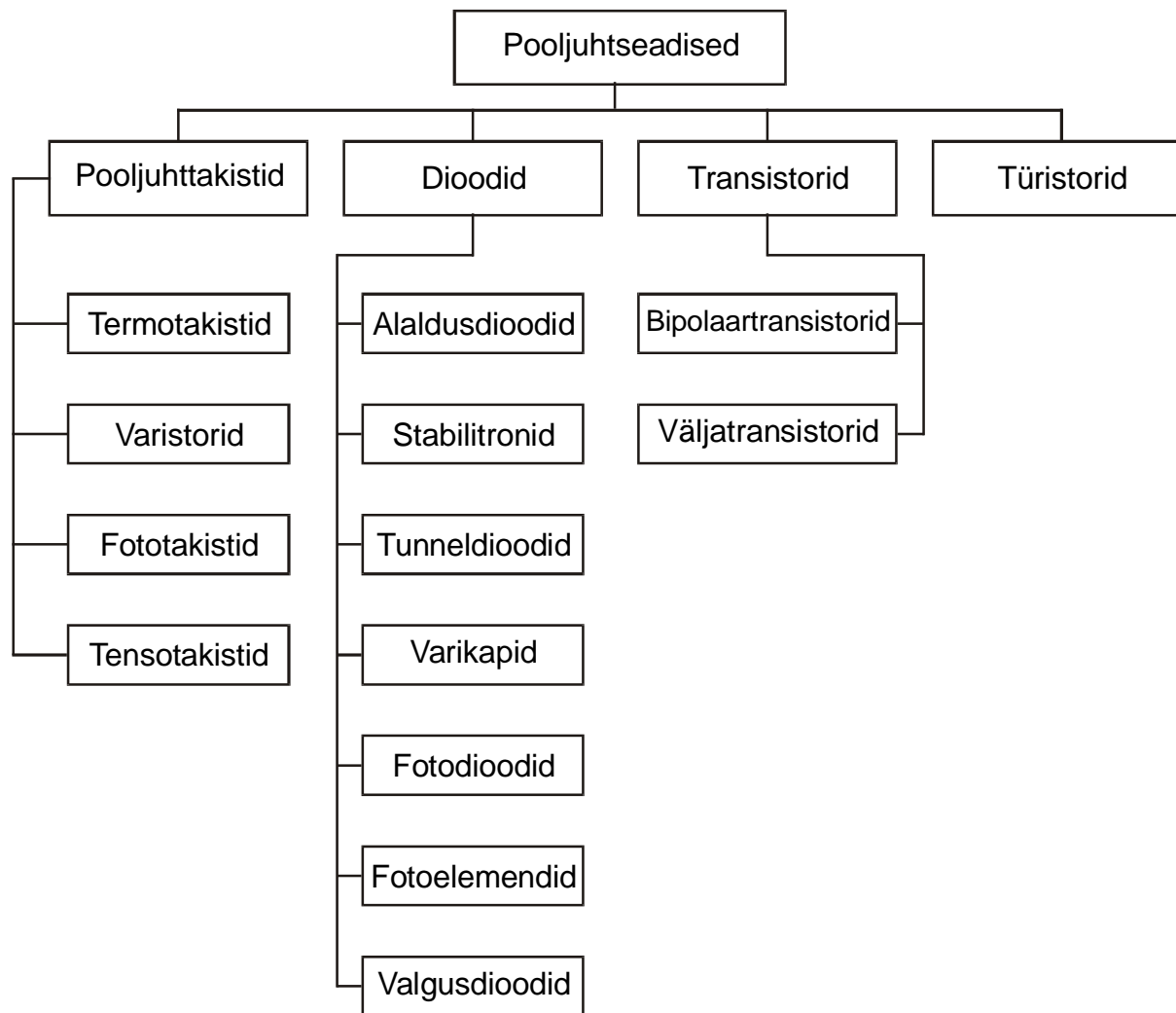
Pooljuhtseadised ja integraalmikrolülitused on elektroonikaseadmete põhilised koostisosad.

Pooljuhtseadiseid hakati praktiliselt kasutama eelmise sajandi alguses. Pooljuhtseadistest võeti esimestena kasutusele detektorid (1904. a). Pooljuhtventiilid (seleen- ja vaskoksiidventiilid) ja mitmesugused pooljuhttakistid leidsid kasutamist 1920ndatel ja 1930ndatel aastatel. 1950ndatel aastatel hakati kasutama räni- ja germaaniumventiile, transistore, türistore, pooljuhtstabilitrone jt. 1960ndatel aastatel ilmusid väljatransistorid ja esimesed mikrointegraallülitused.

Põhilised pooljuhid ja nende olulisemad omadused olid teada juba 19. sajandil.

Pooljuhtideks loetakse aineid eritakistusega  $10^{-6}$  kuni  $10^6 \Omega\text{m}$ , mis on suurem kui elektrijuhtidel ja väiksem kui dielektrikutel. Tähtsamad pooljuhid on germaanium ja räni, seleen ja ühenditest galliumarseniid ja indiumantimoniid.

Tööstuselektronikas on kasutusel konstruktsiooni, talitluse ja otstarbe poolest erinevad pooljuhtseadised, mis võib jaotada mitmesse põhigruppi.



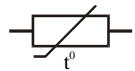
Joonis 8.1. Pooljuhtseadiste liigitus

## 8.2. Pooljuhttakistid

### 8.2.1. Termotakistid

Tavalise takisti puhul püütakse saada konstantne takistus, mis ei sõltu muudest parameetritest.

Termotakisti on seadis, mis põhineb metalli (peamiselt peenikese plaatina- või vasktraadi) või pooljuhi elektritakistuse sõltuvusel temperatuurist.

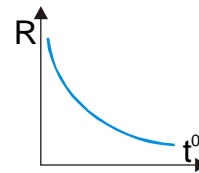


Joonis 8.2. Termotakisti tingmärk

Pooljuhttermotakisteid on kahte tüüpi:

- termistorid,
- posistorid.

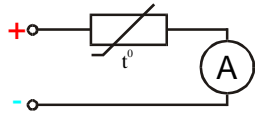
**Termistorid** valmistatakse metallioksiididest ja nende takistus väheneb temperatuuri tõustes ning seega nende takistuse temperatuuritegur on negatiivne.



Joonis 8.3. Termistori takistuse sõltuvus temperatuurist.

Tüüpilised negatiivse takistuse temperatuuriteguriga (joonis 8.3) termistorid muudavad oma takistust temperatuurivahemikus 25 kuni 100 °C mõnesajast (või mõnest tuhandest) kuni mõnekümne (või mõnesaja) oomini. Temperatuuri tõustes nende takistus väheneb 2 – 8% kraadi kohta.

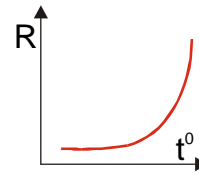
Termistore kasutatakse temperatuuri mõõtmiseks ja elektrilülituste temperatuurisõltuvuse kompen-  
seerimiseks.



Joonis 8.3. Termistori kasutamine temperatuuri mõõtmiseks.

Joonisel 8.3 toodud lülitust saab kasutada näiteks auto õlitemperatuuri mõõtmiseks. Lülitust toidetakse autoakult, termistor paigutatakse mootoriplokki ning ampermeeter on gradueeritud kraadides. Kui õli temperatuur tõuseb, siis väheneb termistori takistus. Selle tagajärjel suureneb vool ja mõõteriista osuti hälve suureneb.

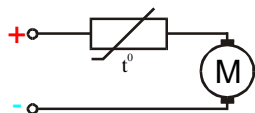
**Posistorid** on positiivse takistuse temperatuuriteguriga pooljuhttermotakistid. Need muudavad väga vähe oma takistust temperatuurivahemikus 0 kuni 75 °C, säilitades takistuse umbes 100 oomi.



Joonis 8.4. Posistori takistuse sõltuvus temperatuurist

Alates temperatuurist 80 °C kasvab posistori takistus kiiresti umbes 10 kilo-oomini 120 °C juures. Positiivse takistuse temperatuuriteguriga termistoride kasutusvaldkonnaks on liigvoolude eest kaitsmine. Lubatud voolust väiksemate väärtuste puhul on termistori kuumenemine tühine ja takistus väike.

Kui vool ületab lubatud väärtust, siis termistor kuumeneb ja takistus suureneb ning piirab kiiresti voolu.



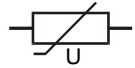
Joonis 8.5. Posistori kasutamine voolu piiramiseks mootori ahelas

Joonisel 8.5 toodud lülitust kasutatakse näiteks auto klaasipuhastite ajami mootori ahelas. Kui klaasipuhasti hari on jäätunud kinni, siis mootor ei hakka pöörlema ja seetõttu suure voolu tõttu soojeneb mootori mähis ja

mootoriga jadamisi ühendatud posistor. Posistori takistus suureneb järsult ja piirab voolu, mis oleks muutunud ohtlikuks mootori mähisele.

### 8.2.2. Varistorid

Varistorid on takistid, mille takistus väheneb pinge kasvades.



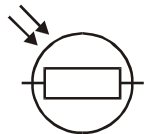
Joonis 8.6. Varistori tingmärk.

Varistore kasutatakse vooluahelate kaitsmiseks liigpingete eest, mis tekivad näiteks induktiivse koormuse lülitamisel. Neid rakendatakse voolu ja pinge stabilisaatorites, automaatreguleerimisseadmetes.

Varistore valmistatakse isegi kilovatiste võimsustega.

### 8.2.3. Fototakistid

Fototakisti on pooljuhtseadis, mille takistus väheneb valguse toimel.



Joonis 8.7. Fototakisti tingmärk.

Fototakistite takistus väheneb valgusvoo mõjul, mistõttu saab nende abil muundada valgussignaale elektrisignaalideks.

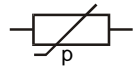
Fototakisti ühendatakse toiteallika ahelasse ükskõik kumba pidi.

Valgustuse puudumisel on fototakistil maksimaalne takistus, mida nimetatakse pimetakistuseks. Ahelas on siis nõrk vool. Fototakisti valgustamisel selle takistus väheneb ja vool suureneb.

Fototakisteid kasutatakse signalisatsiooniseadmetes ja fotoreleedes; infrapunase kiirguse tehnikas öise vaatluse seadmetes ja soojuspeilingaatorites.

### 8.2.4. Tensotakistid

Tensotakisti on pooljuhtseadis, mille takistus sõltub deformatsioonist.



Joonis 8.8. Tensotakisti tingmärk

Tensotakisteid kasutatakse väikeste deformatsioonide mõõtmiseks ja rõhuandurites..

Kõiki eelnevalt kirjeldatud takisteid võib kasutada nii alalis- kui ka vahelduvvooluahelates.

Igal takistil on lubatud võimsus:

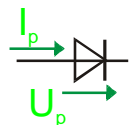
$$P = UI \leq P_{\max}.$$

## 8.3. Pooljuhtdiodid

### 8.3.1. Alaldusdiodid

Pooljuhtdiod on ühe pn-siirdega ja kahe metallväljaviiguga pooljuhtseadis.

Ühesuunalise elektrijuhtivuse tõttu kasutatakse diode alaldites ja kõrgsagedusdetektorites.



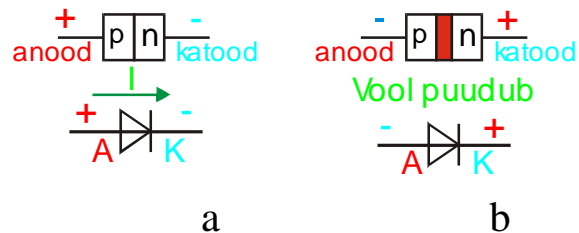
Joonis 8.9. Diodi tingmärk ja tunnussuurused

Diodid valmistatakse põhiliselt ränist või germaaniumist.

Ideaalse diodi pärisuuna takistus on null ja vastusuuna takistus lõpmatult suur ehk päripingelang ja vastuvool on võrdsed nulliga.

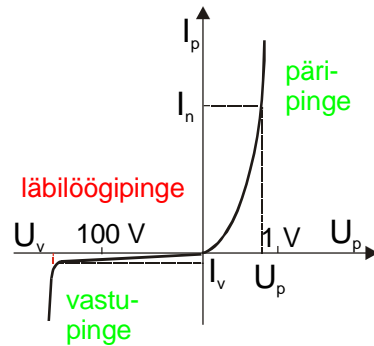
Diod juhik hästi ühes suunas (pärisuunas) ja halvasti teises suunas (vastusuunas).

Selleks et diod juhiks, tuleb ta lülitada pärisuunda. Selleks ühendatakse patarei plussklemm diodi p-kihi ehk anoodiga (joonis 8.10, a) ja miinuskelem n-kihiga ehk katoodiga. Polaarsuse muutmisel läbib diodi vastuvool  $I_v$ , mis on tühine võrreldes normaalse pärisuuna vooluga  $I_p$ . Selline lülitus on kujutatud joonisel 8.10, b.



Joonis 8.10. Diodi ühendamise päri-  
(a) ja vastulülitusse (b).

Pärioolu läbimisel tekib diodi anoodi ja katoodi vahel päripinge  $U_p$ . Tavaliselt see on väiksem ühest voldist. Germaaniumdioode iseloomustavad tunduvalt väiksemad päripinged võrreldes ränidiodidega sama pärioolude korral. Kuid neil on tunduvalt suurem vastuvool, näiteks  $1 \mu\text{A}$ , kui ränidiodil on see sama päripinge 50 V korral  $10 \text{ nA}$ .



Joonis 8.11. Diodi tunnuskarakteristik.

Tüüpiline diodi tunnusjoon (VA-karakteristik) on toodud joonisel 8.11. Sellel karakteristikul on kaks osa:

- diodi juhtivale suunale (päri- ja juhtivale suunale) vastav osa esimeses veerandis,
- mittejuhtivale suunale (vastu- ja mittejuhtivale suunale) vastav osa kolmandas veerandis.

Päri- ja vastuvoolul on erinevad mõõtkavad, sest nende suurusjärgud on erinevad.

Kui diod on päripingestatud (anoodil on katoodi suhtes positiivne pinge), siis juhib diod voolu ja päripingelang on väike.

Kui diod on vastupingestatud, siis läbib diodi ainult väga väike vastuvool. Teatud piirini ehk läbilöögingeni muutub vastuvool vähe. Sellest pingest suurematel pingetel kasvab vastuvool kiiresti ja põhjustab termilise või elektrilise läbilöögi.

Lähtudes läbilöögingest normeeritakse diodile vajaliku varuga lubatud maksimaalne vastupinge  $U_{v\max}$ .

Normaalse tööolukorras ei tohi läbilööginget ületada.

Diodi nimipinge on tavaliselt 80...90% läbilöögingest. Praktilisel kasutamisel võetakse tööpinge 60...70% läbilöögingest.

Diodide jaotamine alaldus- ja impulssdiodideks on küllalt suvaline. Nad on vahetatavad.



Ehituselt jagunevad diodid veel

- punktdiodideks;
- pinddiodideks.

Punktdiodidel on pn-siirdeks metallteraviku ja pooljuhtplaadi kontaktpunkt. Selliste diodide pn-siirde väike elektrimahtuvus võimaldab neid kasutada kõrgsagedusvoolude alaldamiseks, st detektorite koosseisus.

Alaldusdiodidena ehk pooljuhtventiilidena on kasutusel põhiliselt ränidiodid.

### 8.3.2. Pooljuhtstabilitron

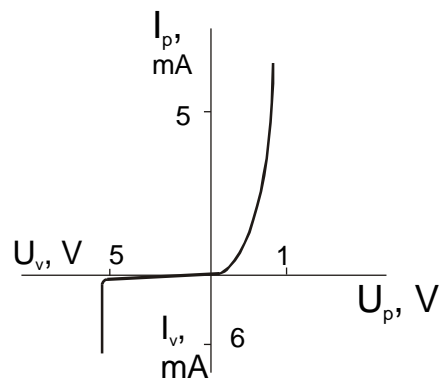
Stabilitron on eritüüpi ränidiod, mis töötab läbilöögipingega võrdse vastupingega ja hoiab temaga paralleelselt ühendatud koormusele rakendatud toitepinge või koormusvoolu muutumisel sellele mõjuva pinge peaaegu muutumatuna.



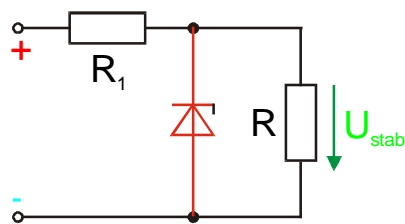
Joonis 8.12. Stabilitroni tingmärk

Stabilitroni läbilöögipinged, mis on stabiliseerimispingeks, on vahemikus 2,4 kuni 91 V. Stabilitroni, mille läbilöögipinge on 5,1 V, on kujutatud joonisel 8.13.

Stabilitroni töö põhineb pn-siirde teatud kindla vastupinge  $U_v$  ületamise järgneval järsul diodi takistuse vähenemisel ja seda läbiva voolu tugevnemisel.



Joonis 8.13. Stabilitrone tunnusjoon.



Joonis 8.14. Stabilitrone lülitusskeem

Joonisel 8.14 on toodud stabilitrone lülitusskeem. Koormus (tarviti) on lülitatud rööbiti stabilitroniga. Seetõttu on stabiliseerimistalitus, kui pinge stabilisaatoril peaaegu ei muutu, samasugune pinge ka koormusel. Kõik allika pinge muutused võtab enda peale piirav takisti  $R_1$ .

### 8.3.3. Varikap

Varikap ehk mahtuvusdiod on pooljuhtdiod, mille pn-siiret kasutatakse elektriliselt tüüritava mittelinearse kondensaatorina.



Joonis 8.15. Varikapi tingmärk.

Varikappe kasutatakse võnkeringide häälestamiseks soovitud sagedusele.

### 8.3.4. Valgusdiod

Valgusdiod on pooljuhtseadis, mis muundab elektrienergiat valguskiirguse energiaks.

Valgusdiod tarbib tunduvalt vähem energiat kui hõõglambid. Kui esialgu leidsid nad kasutamist indikaatoritena, siis on viimasel ajal suure valgusviljakusega valgusdiodide kasutusevõtmise tulemusel hakanud levima valgusdiodide kasutamine valgustuspaigaldistes.



Joonis 8.16. Valgusdiodi tingmärk.

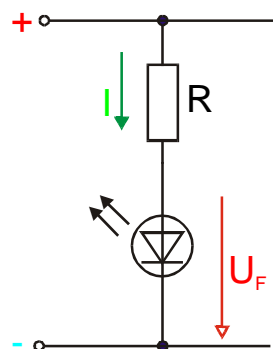
Valgustuspaigaldistes kasutatavad valgusdiodid on väikepingelised (enamasti alalispingel 3...7 V talitlevad) väikesemõõtmelised (läbimõõduga 1...5 mm) pooljuhtseadised, mis on varustatud sisseehitatud nõguspeegli ja läätsega ja mis kiirgab valgust kitsama või laiema vihuna mingis ühes suunas. Nad on nii värvilised (kollased, punased, rohelised, sinised) kui ka valged. Valgustuseks ettenähtud valgusdiodid on 1...5-vatised, nimipinge 3,6 või 6,8 V, valgusviljakus 10...30 lm/W ja eluiga kuni 40 000 tundi.

Päriivoolu piiramiseks lülitatakse valgusdiodiga jadamisi takisti (joonis 8.17), mille takistus leitakse järgmiselt:

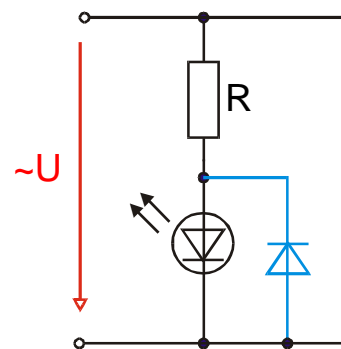
$$R = \frac{U - U_F}{I},$$

kus  $U_F$  valgusdiodi päripinge;

$U$  – toitepinge.



Joonis 8.17. Valgusdiodi  
lülitamine  
alalispingele



Joonis 8.18. Valgusdiodi  
lülitamine  
vahelduvpingele

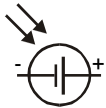
Vastupinge umbes 5 V võib rikkuda valgusdiodi. Joonisel 8.18 on näidatud valgusdiodi lülitamine vahelduvpingele. Rööbiti lülitatud diod kaitseb valgusdiodi võimaliku suurema vastupinge eest.

Punased valgusdiodid tulid kasutusele 1961. aastal ja leidsid kasutamist signaallampidena. 1975. aastal lisandusid kollased, oranžid ja rohelised valgusdiodid. Kui 1982. aastal tulid välja sinised valgusdiodid ning seejärel ka valged valgusdiodid, siis sai võimalikuks valgusdiodide kasutamine ka valgustuses.

Praegu on valgusdiodid hakanud reklaamvalgustuses välja tõrjuma kõrgepingelisi huumlahenduslampe, valgusfoorides, autode signaaltuledes ja kandelampides hõõglampe.

### 8.3.5. Fotoelemendid

Fotoelement on pooljuhtseadis, mis muundab valgusenergia elektrienergiaks.



Joonis 8.19. Fotoelemendi tingmärk.

Ventiilfotoelementides kasutatakse kõige sagedamini räni. Kui kahe õhukese p- ja n-pooljuhikihi vahel moodustuva p-n-siirdesse satuvad footonid, siis põhjustavad need erimärgiliste laengute eraldumist ja laengukandjate (elektronide ja aukude) liikumist vastaselektroodidele. Selle tulemusel tekib elektromotoorjõud (vooluta olekus *ca* 0,6 V) ja kui väline vooluahel on suletud, siis elektrivool. Normaaltalitusel on fotoelemendi pinge *ca* 0,5 V. Kiirguse soovimatu peegeldumise vältimiseks on fotoelement kaetud peegeldusvastase kihiga. Sobiva voolu saamiseks ühendatakse fotoelemendid jada- ja rööpühenduse kombineerimise teel mooduliteks, need aga omakorda patareideks. Fotoelementide mooduleid valmistatakse võimsusega mõnest millivatist kuni mõnesaja vatini.

Tööstuslikult toodetud fotoelementide kasutegur on 14...17%.

Fotoelemente kasutatakse taskuarvutite toiteks, signalisatsioonisüsteemide toiteallikatena. Patareidena ühendatuna kinnitatakse hoonete katusele ja kasutatakse kohaliku elektritoiteallikana. Päikesepatareidega on varustatud kõik tehiskaaslased.

Keskkonnasõbraliku fotoelementide eelised energiaallikana seisnevad liikuvate osade puudumises, hooldamise lihtsuses ja kõrges töökindluses. Puuduseks on suur erimaksumus ja väike kasutegur.

## 8.4. Türistorid

Türistor on mitme pn-siirdega pooljuhtseadis, mille tunnusjoonel on negatiivse diferentsiaaltakistusega lõik.



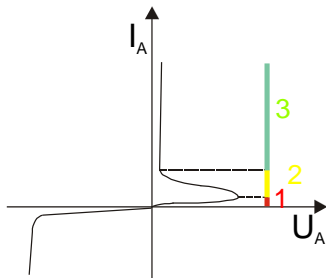
Joonis 8.20. Juhitava türistori tingmärk.

Türistorid valmistatakse ränist.

Sisselülitatud (avatud) türistoril on väike takistus, väljalülitatud (suletud) türistoril aga suur takistus.

Türistore liigitatakse tüürimismooduse järgi:

- mittetüüritavad, kui türistoril on ainult kaks elektroodi (anood ja katood). Tema sisselülitamiseks (avamiseks) ja väljalülitamiseks (sulgemiseks) tuleb muuta toitepinge polaarsust. Sellist türistori nimetatakse ka **dinistoriks**.
- tüüritavad, kui türistoril on kolm elektroodi (anood, katood ja tüürelektrood). Sellist türistori nimetatakse ka **trinistoriks**.



Joonis 8.21. Türistori tunnusjoon.

- 1 türistor on suletud;
- 2 negatiivse diferentsiaaltakistusega lõik;
- 3 türistor on avatud.

Türistore saab sisse lülitada kas kindla polaarsuse ja väärtusega anoodpinge või tüürelektroodile antava elektripinge abil.

Tüüritavaid türistore, mida saab ainult sisse lülitada, nimetatakse **üheoperatsioonilisteks**.

Türistore, mida saab tüürvoolu abil ka välja lülitada, nimetatakse **kaheoperatsioonilisteks**.

Kasutatavamad on üheoperatsioonilised türistorid, mille väljalülitamiseks tuleb katkestada anoodvool või muuta anoodpinge polaarsust.

Türistore kasutatakse põhiliselt alaldites reguleeritava väljundpinge saamiseks, vaheldites ja sagedusmuundurites.