

## Diod

Eeldus: Oomi seadus, koormussirge.

Paljude praktilistes olukordades tasub diodi kasutamisel meeles pidada kahte asja:

1. **diod hakkab voolu juhtima siis, kui diodile rakendatud pinge ületab lävepinge  $U_b$**  (Ränidiodil vahemikus 0,6 kuni 0,7 V)
2. **kui diodi läbib vool, jääb pingelang diodil ligikaudu võrdseks lävepingega**

Tegemist on lihtsustatud diodi mudeliga aga enamasti ajab see asja ära.

Mida see tähendab?

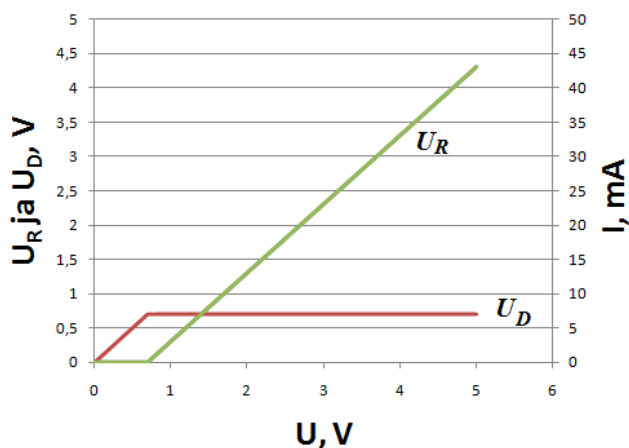
Kui me rakendame diodile läbi takisti R pinge U (nagu kõrvaloleval joonisel), siis seni kuni pinge U jääb väiksemaks pingest  $U_b$ , on vool läbi diodi null.

*Takisti R on antud juhul kasutusel selleks, et kõrgematel pingetel voolu läbi diodi piirata ja tegelikult on ka diodil endal teatud takistus, mida võib vaadelda jadamisi ühendatud takistuse R osana.*

Kui vool läbi diodi on 0, on ka pingelang takistil R ( $U_R = I \cdot R$ ) null ja seetõttu on diodi otstele rakendatud pinge  $U_D$  võrdne pingega U.

Kui pinge U väärtus hakkab ületama lävepinget  $U_b$ , siis hakkab diodi läbima vool I ja voolu väärtust jääb piirama takisti R. Konkreetse huvides võtame takisti R takistuseks 100  $\Omega$ .

Kuna avatud diodi takistus on väga väike, võiks diodi avanemisel kasvada vool läbi diodi väga suureks. Samas aga tekitab vool läbi takisti R pingelangu  $U_R = I \cdot R$ . Seetõttu saab vool läbi takisti R kasvada parasjagu nii suureks, et diod jääks endiselt avatuks (pinge diodil jääks ligikaudu lävepingele  $U_b$ ) ja ülejäänud pinge rakenduks takistile  $U_R = U - U_b$  (vaata kõrvalolevat joonist). Vool läbi diodi ja takisti R saab seega olla võrdne  $I = (U - U_b)/R$  (kõrvalolev joonis) Kui takisti R on konstantne, hakkab vool kasvama lineaarselt pinge U kasvuga.

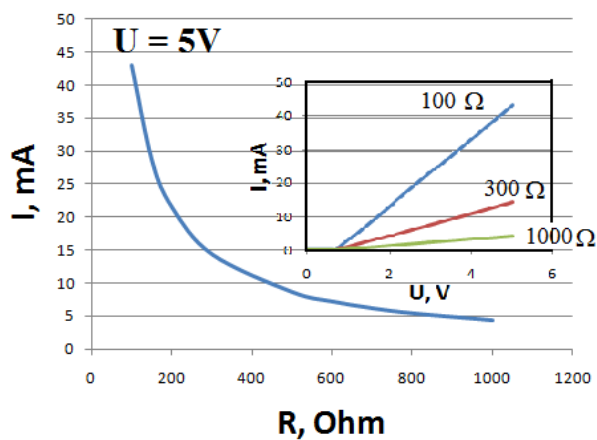


**Järeldus:** isegi kui diodi enda volt-amperekarakteristik (I sõltuvust U-st) on mittelineaarne (eksponentsiaalne), on **diodiga jadamisi ühendatud takisti R olemasolul diodi voolu sõltuvus pingest ligikaudu lineaarne** (ülalolev joonis). Sama kehtib ka bipolaarsete transistoride baas-emitter siirde kohta! Antud järeldus kehtib siiski ennekõike suurte voolude korral. Väikeste voolude korral tuleb arvestada ka siirde takistusega  $h_{ie} = 25/I$  [mA].

Ülesanded: Leidke jadamisi ühendatud diodi ja takisti voolu sõltuvus rakendatud pingest  $U$ , kui takisti väärtus on  $1\text{ k}\Omega$  ja pinge väärtused on  $1, 3, 10$  ja  $20\text{V}$ !

Tavaliste diodide jaoks on lävepinge määratud diodis kasutatava materjaliga. Ülaltoodud näidetes on kasutatud ränidiodi. Ränidiodi lävepinge on enamasti vahemikus  $0,6$  kuni  $0,7\text{ V}$  ja see sõltub  $p$ - $n$  siirde moodustavate lisandite hulgast. Germaanium diodil on lävepinge ligikaudu  $0,3\text{ V}$ . Valgusdiodidel sõltub lävepinge diodi värvist ja on punase diodi jaoks ligikaudu  $1,4\text{ V}$  ning sinise diodi jaoks  $4\text{ V}$ . Zener diood töötab teisiti (kasutatakse vastupinget) ja antud juhul saab lävepinget seada vastavalt vajadusele.

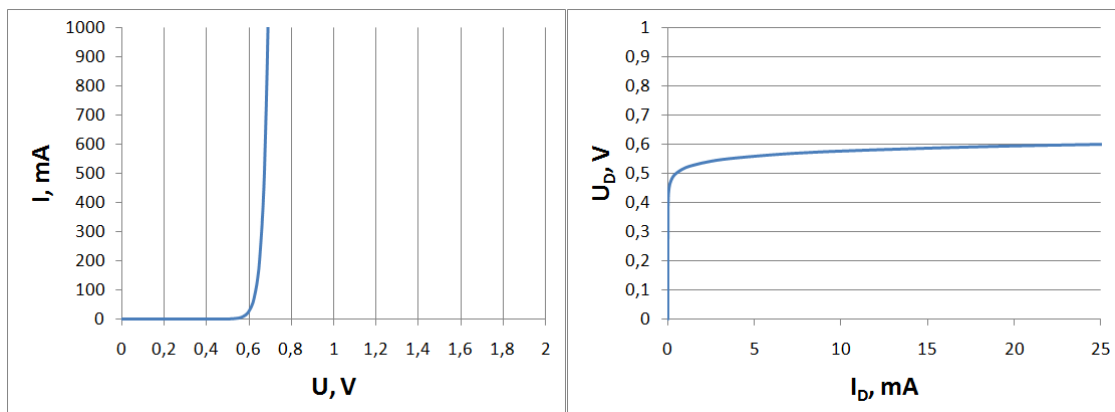
Eelnevalt oli meil kasutusel konstantne takisti  $R$  ja voolu muutmiseks muutsime diodile ja takistile rakendatud pinget  $U$ . Kui meil on etteantud pingesallikas, siis saab diodi läbivat voolu kontrollida jadamisi ühendatud takistiga  $R$ . Mida suurem on takisti  $R$ , seda väiksem on vool  $I = (U - U_D)/R$ . Seda saab kasutada baasivoolu seadmiseks bipolaarse transistori korral juhul, kui toitepinge on konstantne.



Ülesanne: kui kasutada on punane valgusdiod, siis millise takistusega takistit  $R$  peab kasutama diodi voolu  $20\text{ mA}$  saavutamiseks, kui toiteallika pinge  $U$  on  $6\text{ V}$ ?

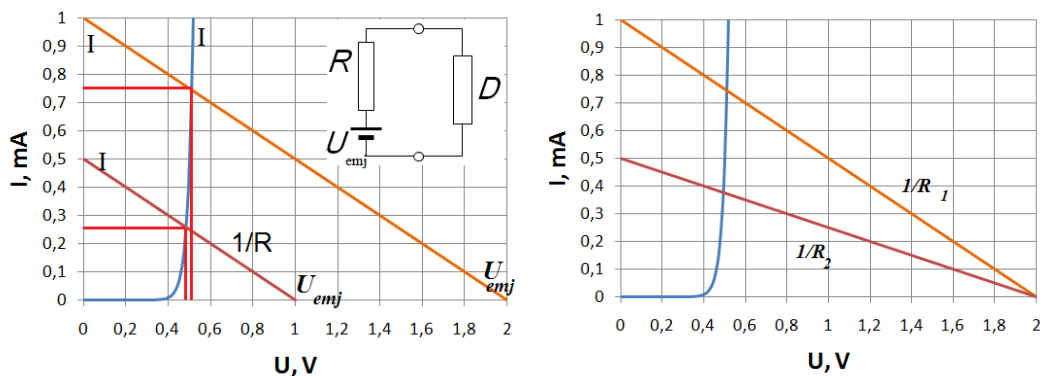
### Koormussirge kasutamine mittelineaarsete ahela elementide korral

Kui eelnevalt kasutati diodi voolu leidmiseks lihtsusatud diodi mudelit, kus avatud diodi vool võib olla lõpmata suur, siis realselt kasvab diodi vool eksponentsiaalselt. Seetõttu kasvab suurema voolu korral ka diodile langev pinge  $U_D$ .



Ülaloleval joonisel on näidatud diodi voolu sõltuvus dioodile rakendatud pingest ja sama graafik ümberpööratuna ehk dioodile langeva pinge sõltuvus diodi läbivast voolust. Jooniselt on näha, et diodi läbiva voolu muutumisel 5 mA kuni 25 mA muutub dioodile langev pinge 0,55 V kuni 0,6 V.

Üks võimalus jadamisi ühendatud diodi ja takisti korral diodi läbivat voolu ja dioodile rakendatavat pinget leida on kasutada graafilist meetodit. Kõrval oleval joonisel on sinisega toodud eksponentsiaalne diodi volt-ampere karakteristlik vooluni 1 mA. See määrab milline on konkreetse diodi läbiva voolu korral dioodile rakendunud pinge. Kui meil on nüüd pingeaallikas pingega  $U_{emj}=1$  V, ja jadamisi ühendatud takisti  $R$  takistusega  $2\text{ k}\Omega$ , siis saab leida antud süsteemi jaoks koormussirge (pruunikas-punane joon) tõusuga  $1/R$ . Diodid käitub siin koormusena  $D$ . Takistit läbiv vool tekitab vastavalt pingelangu takistil (sarnaselt sisetakistusega pingeaallika korral). Seega, mida suurem vool takistit  $R$  ja diodi  $D$  läbib, seda väiksem on koormusele (diodile) langev pinge. Kuna **diodi ja takistit läbivad voolud peavad olema võrdsed**, on süsteemi läbiv vool punktis kus diodi karakteristlik (sinine) ja koormussirge (tumepruun) kokku langevad. Seega on vool antud tingimustel ligikaudu 0,26 mA ja diodi pinge 0,48 mV. Kehtib ka teine reegel pingetele ehk **takistile ja koormusele langevate pingete summa peab olema võrdne emj. allika pingega**. Takistile langeb ülejäänud pinge ( $1\text{V}-0,48\text{V} = 0,52\text{V}$ ). Selleks, et voolu suurendada, võib suurendada pinget. Juhul, kui pingeaallika pinge on 2 V ja takisti jääb samaks, nihkub koormussirge vasakule aga tõus jääb samaks (oranzikas joon). Ka nüüd peavad voolud läbi takisti ja diodi olema võrdsed ja seega on diodi vool ja pinge määratud sinise kõvera ja oranži joone lõikumispunktiga. Antud juhul on vool 0,75 mA ja pinge 0,5 V. Takistile jääb nüüd pinge 1,5 V. Antud näite põhjal on näha, et dioodile ja takistile rakendatud pinge muutumisel 2x muutub diodi pinge vaid õige natuke. Seetõttu ongi sageli õigustatud lihtsustatud diodi mudel (sinise kõvera asemel oleks püstloodis sinine joon).



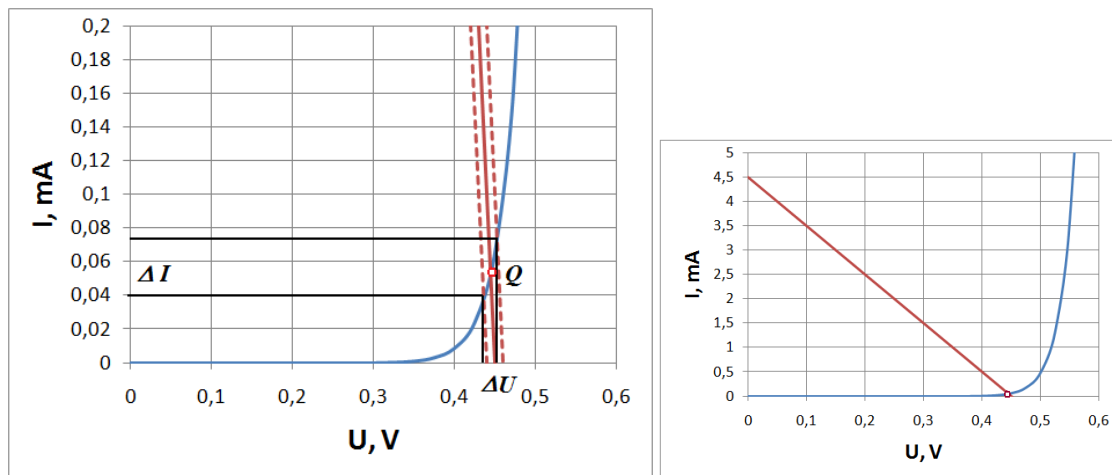
Etteantud pingeaallika korral saab voolu seadistada takisti takistust varieerides (parempoolne joonis). Mida suurem takistus, seda väiksem vool.

Lisaks graafilisele meetodile saab voolud ja pinged leida ka analüütiliselt kasutades diodi valemit ja koormussirge valemit ning eeldades, et voolud on võrdsed seejärel lahendades saadud võrrandi. Diodi valemit kasutades on võrrandi lahendamine siiski tülikas ja seetõttu ongi enamasti õigustatud lihtsustatud diodi mudel, kus eeldatakse, et dioodile langev pinge on lihtsalt võrdne lävepingega (koormussirgega graafikul on lävepingel vertikaalne joon).

### Diodi takistus väikesele vahelduvsignaalile.

Eelnevalt eeldati, et diodi siirde takistus on väike ja sellega ei pea arvestama. Väikeste voolude korral (alla mA) tuleb arvestada ka siirde takistusega. Seda eriti juhul, kui tegemist on bipolaarsel

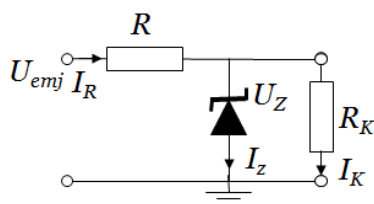
transistoril põhineva võimendi baas-emitter siirdega. Tavaliselt rakendatakse diodile sel juhul mingisugune alalispinge, millega seatakse tööpunkt.



Joonisel on see märgitud punase ringiga. Antud juhul on jadamisi oleva takisti  $R$  takistus  $100 \Omega$  ja pinge  $0,45 \text{ V}$ . Kui nüüd rakendada täiendav pinge  $\pm 10 \text{ mV}$  siis tekib teatud voolu muutus  $\Delta I$  ja antud väikeses pingevahemikus on see muutus ligikaudu lineaarselt seotud pinge muutusega. Kuna vool on tasakaalupunktis ligikaudu  $0,053 \text{ mA}$ , on siirde takistus  $h_{ie} = 25/0,053 \text{ mA} = 471 \Omega$  ja seega on siirde takistus juba märgatavalt suurem kui jadamisi oleva takisti väärtus ja määrab pinge muutusele vastava voolu.

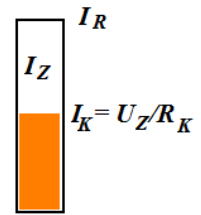
### Diiod konstantse pinge allikana (pingestabilisaatorina)

Diiodi ja eriti Zener diiodi saab kasutada konstantse pinge allikana kuna pinge diiodi ja Zener diiodi otstel voolust ei sõltu. Seetõttu, isegi kui diiodile ja temaga jadamisi ühendatud takistile rakendatud pinge varieerub, jääb diiodile rakenduv pinge konstantseks (vaata eelnevat osa). Tavalise räni diiodi korral on lävepinge  $0.6-0.7 \text{ V}$  ja see piirab tema kasutusvõimalusi pingeallikana. Zener diiodi korral saab lävepinget laias vahemikus seada ja seetõttu kasutatakse pingeallikates just Zener diiodi. Tähelepanu: Zener diiodi kasutatakse vastupingestatult!



Selleks, et Zener diiodi pigestabilisaatorina kasutada, tuleb koormus temaga rööbiti ühendada (joonisel  $R_K$ ). Ahelale rakendunud pinge jaguneb endiselt jadamisi olevale takistile  $U_R$  ja diiodile  $U_Z$ , kusjuures diiodil olev pinge püsib konstantne sõltumata teda läbivast voolust  $I_Z$  (eeldusel, et vool on nullist suurem). Kuna pinge  $U_Z$  on konstantne, peab konstantne olema ka pinge  $U_R = U_{emj} - U_Z$  ja vool läbi takisti  $R$  ehk  $I_R = (U_{emj} - U_Z)/R$ . Järelikult saame ahelasse siseneva voolu  $I_R$  seadistada takistiga  $R$ . Kui  $R$  on liiga väike, siis koormuse puudumisel läbib kogu vool diiodi ja võib seda kahjustada. Kui  $R$  on liiga suur, siis võib vool diiodil jääda nii väikseks, et ta ei suuda enam pinget hoida. Tavaliselt valitaksegi  $R$  lähtudes maksimaalsest lubatud voolust  $I_Z$  (või võimsusest  $P = U_Z I_Z$ ).

Vool mis ahelasse siseneb, on praktiliselt sõltumatu koormuse takistusest  $R_K$  ja on määratud vaid ainult takistusest  $R$ . See vool jaguneb koormusele ja Zener diodile (vaata kõrvalolevat joonist).



Kui diodiga on rööbiti ühendatud koormus takistusega  $R_K$ , siis on pinge koormusel määratud diodi pingega  $U_K = U_Z$ . Vool läbi koormuse on määratud oomi seadusega  $I_K = U_Z / R_K$ . Ülejäänud vool  $I_R - I_K = I_Z$  läbib zener diodi. Seega olemegi kindla  $U_{emj}$ ,  $U_Z$ , jadamisi ühendatud takisti  $R$  ja koormuse  $R_K$  korral võimelised arvutama pinged ja voolud kõigis ahela osades.

Kui konkreetse diodi ja sisendtakistuse  $R$  korral  $U_{emj}$  muutub, siis muutub ainult vool  $I_R$  läbi sisendtakistuse  $R$  ja läbi zener diodi aga ei muutu pinge  $U_K$  koormusel ega ka vool  $I_K$  koormusel. Seetõttu ongi antud ahel väga kasulik pinge stabiliseerimisel. Kui koormustakistus on väga suur, siis läbib kogu vool zener diodi. Kui takistus  $R$  väheneb, siis koormust läbiv vool  $I_K$  kasvab ja Zener diodi läbiv vool peab selle võrra vähenema ( $I_Z + I = I_R$ ) ja teatud koormustakistuse väärtuse korral saab vool  $I_K$  võrdseks ahelasse siseneva vooluga  $I_R$ . Sellest voolust alates ( $I_K = U_Z R_K$ ) diod enam pinget hoida ei suuda ja pinge koormusel hakkab edasisel voolu kasvul vähenema (moodustub pingejagur takistite  $R$  ja  $R_K$  baasil).

Realse diodi korral on olemas mingisugune nullist suurem vool, mille korral diodil olev pinge hakkab juba oluliselt vähenema ja see vool on antud diodi spetsifikatsioonides.