

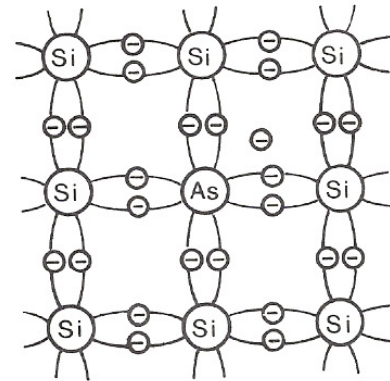
PUOLIJOHTEET

n-tyyppin- ja p-tyyppin puolijohteet

- puolijohteet ovat aineita, jotka johtavat sähköä huonommin kuin johteet, mutta paremmin kuin eristeet (= eristeen ja johteen välimuotoja)
- resistiivisyydet huoneenlämpötilassa ovat välillä $10^{-5} \Omega\text{m} \dots 10^7 \Omega\text{m}$.
- puolijohteet ovat aineita, joissa pieni ulkoinen energia (esim. valo, lämpö tai ulkoinen sähkökenttä) irrottaa elektroneja sähkönsäilytykseen
- virrankuljettajina voivat toimia joko elektronit tai "aukot", mikä tarkoittaa elektronin puuttumista jostakin kohtaa rakennetta.

n-tyyppin puolijohteet

- kun IV-pääryhmän aineeseen (Esim. Si) lisätään V-pääryhmän atomeja (esim. As, Sb), joilla on yksi valenssielektroni enemmän kuin isäntäatomeilla, saadaan n-tyyppipuolijohde, joissa elektronit toimivat varauksenkuljettajina

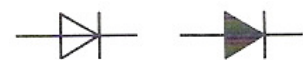


p-tyyppin puolijohteet

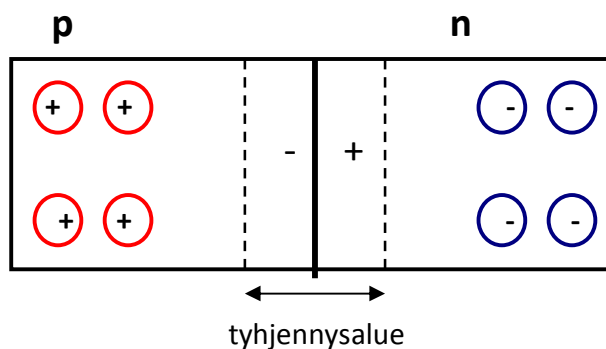
- kun IV-pääryhmän aineeseen (Esim. Si) lisätään III-pääryhmän atomeja (esim. B, In), joilla on yksi valenssielektroni vähemmän kuin isäntäatomeilla, saadaan p-tyyppipuolijohde.
- kunkin seosatomien kohdalle sidoksiin syntyy elektronivajaus, **positiivinen aukko**, joka toimii varauksenkuljettajana kuten positiivinen varaus.
- elektroniikassa käytetyimpiä alkuainepuolijohteita ovat pii (Si), germanium (Ge) sekä III- ja V-ryhmien alkuaineet.

PUOLIJOHDEDIODI

- muodostuu yhteen liitetystä p-tyyppin ja n-tyyppin puolijohdeista
- p-tyyppin puolijohdeissa virtaa kuljettavat positiiviset aukot ja n-tyyppin puolijohdeissa elektronit

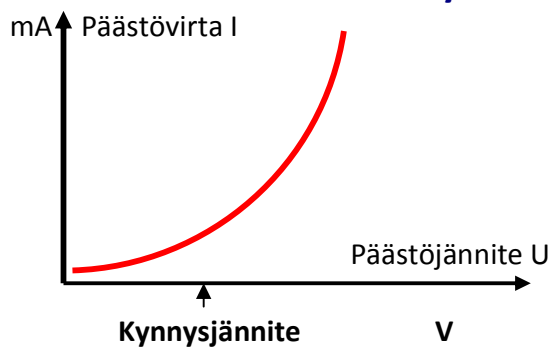


Kun p-tyyppin ja n-tyyppin puolijohdemateriaalit yhdistetään, rajapintaan syntyy *tyhjennysalue* johtuen varausten jakautumisesta.

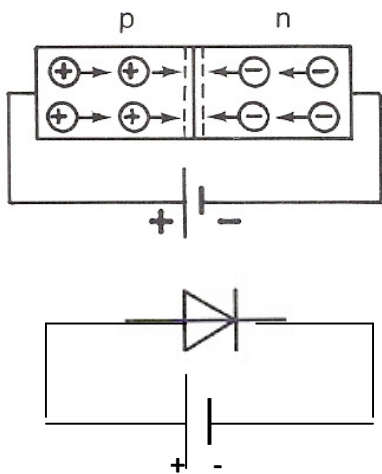


Varauksenkuljettajat kulkevat liitoskohdan läpi lämpöliikkeen vaikutuksesta. P-tyyppin puolijohteesta siirtyy aukkoja n-tyyppin puolijohteeseen ja elektroneja vastakkaiseen suuntaan rajapinnan yli. Tällöin n-tyyppiseen aineeseen johtuneet aukot täyttyvät elektroneilla ja p-tyyppiseen aineeseen siirtyneet elektronit yhtyvät aukkoihin. Tämä ilmiö on nimeltään **rekombinaatio**. Rajapinnan läheisyydessä ei ole enää vapaita varausten kuljettajia, joten on muodostunut kapea tyhjennysalue. Tässä alueessa on n-tyypin puolijohteessa pieni positiivinen varaus ja p-tyypin puolijohteessa pieni negatiivinen varaus. Tällöin rajapintaan syntyy sähkökenttä ja **kynnysjännite**. Rajapinnan ylittämiseksi varausten kuljettajilla on oltava riittävästi energiaa, jotta ne voisivat ylittää kynnysjännitteen. n-tyypin piidiodilla (Si) kynnysjännite on noin 0,7 V ja p-tyypin germaniumdiodilla (Ge) 0,3 V.

Diodin ominaiskäyrä

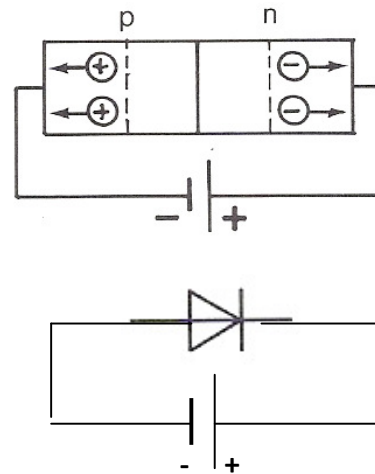


Diodi päästösuunnassa: virta kulkee




- sähkövirta kuljettaa jatkuvasti elektroneja ja aukkoja rajapintaa kohti, jossa ne rekombinoituvat (yhtyvät) ja sähkövirta kulkee pn-suunnassa.
- diodi johtaa sähköä vain, jos sen päiden välinen jännite ylittää kynnysjännitteen.
- jännitteen ylitettyä kynnysjännitteen sähkövirta alkaa kasvaa nopeasti (vrt. diodin ominaiskäyrä)

Diodi estosuunnassa: virta ei kulje



- jännitelähteen positiivinen napa vetää puoleensa n-tyyppisen alueen elektroneja ja negatiivinen napa p-tyyppisen alueen aukkoja. Näin sähkökenttä vetää vapaat elektronit ja aukot kauemmas toisistaan ja pn-rajapinnasta. Virta ei kulje ja diodi on kytketty estosuuntaan.

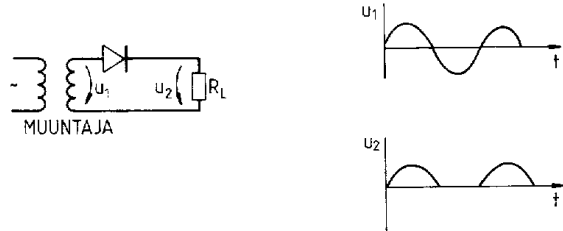
Puolijohdediodi päästää virtaa lävitseen vain toiseen suuntaan. 

Diodin käyttö:

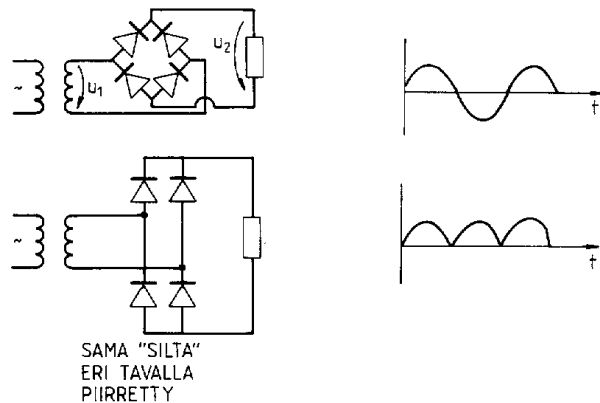
- vaihtovirran tasasuuntaus
- kytkimenä
- ilmaisimena, joka erottaa suuritaajuisesta kantaallosta pienitaajuisen signaalin

Esimerkkikytkentöjä

a) Puoliaaltotasasuuntaaja



b) Kokoaaltotasasuuntaaja

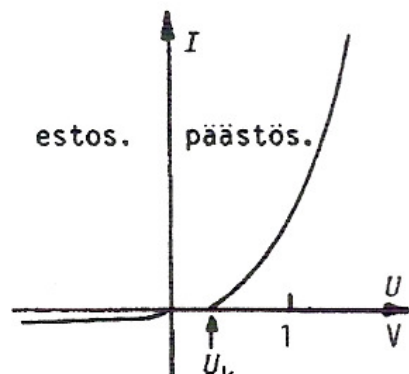


YO-K96-14

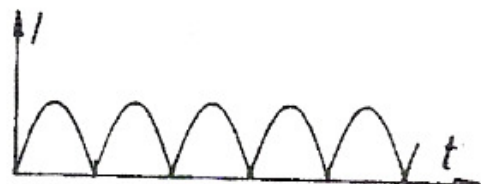
- Piirrä ja selitä puolijohdediodin tyypillinen ominaiskäyrä
- Mitä tarkoitetaan kokoaaltotasasuunnauksella?
- Esitä kytkentä, jolla saadaan aikaan kokoaaltotasasuuntaus.
- Selosta, millä tavoin sykkivän tasasuunnatun jännitteen vaihtelua voidaan tasata.

(Ks. myös YO-K09+13 !!).

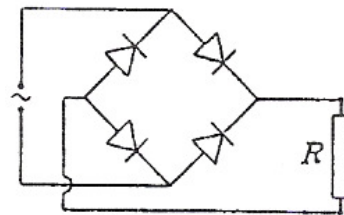
- Puolijohdediodissa on tasasuuntaava pn-liitos. Virta kulkee, kun diodi on kytketty päästösuuntaan eli p-puoli korkeampaan potentiaaliin. Päästösuunnassakin virta kulkee vasta, kun jännite ylittää ns. kynnyksjännitteen U_k (0,2 – 0,6 V). Estosuunnassa kulkee hyvin pieni, itseisjohtumisesta aiheutuva vuotovirta.



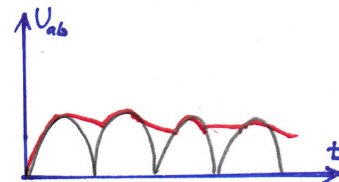
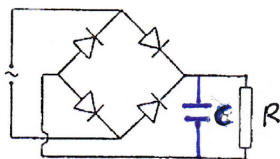
- Tasasuunnauksessa vaihtojännitteellä synnytetään yhteen suuntaan kulkevaa virtaa. Kokoaaltotasasuunnauksessa jännitteen kumpikin puolijakso aiheuttaa piiriin samansuuntaisen virran.



- c) Kokoaaltotasasuuntaus saadaan aikaan diodisillalla (ks. kuvio). Tasasuunnattu jännite saadaan vastuksen R navoista.



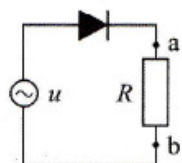
- d) Tasasuunnatun jännitteen vaihtelua voidaan tasata kytkemällä vastuksen R rinnalle suodatinkondensaattori C.



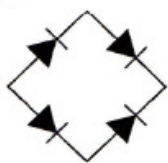
YO-K09+13

- +13. a) Piirrä jännitteen U_{ab} periaatteellinen kuvaaja oheisessa kytkennässä. (1 p.)
 b) Piirrä kytkentä, jossa tasasuuntaus toteutetaan oheisen kuvan mukaisella diodisillalla sekä piirrä näin saadun jännitteen kuvaaja. (2 p.)
 c) Mitä tarkoitetaan p-tyyppin ja n-tyyppin puolijohteilla? (2 p.)
 d) Selitä diodin toiminta pn-rajapintaa tarkastelemalla. (4 p.)

Ratkaisu.

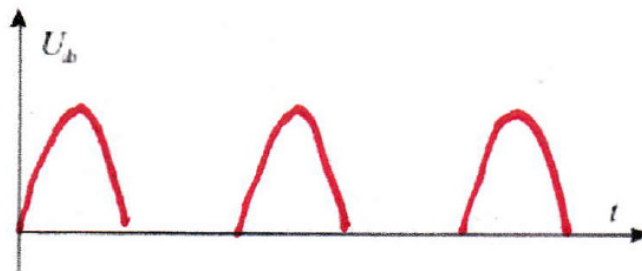


a)

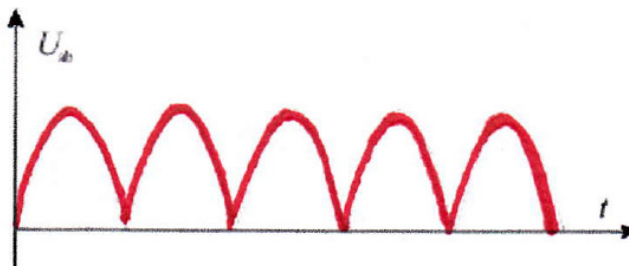
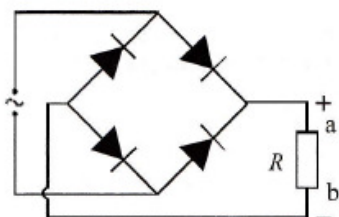


b)

- a) Kyseessä on puolialttotasasuuntaus



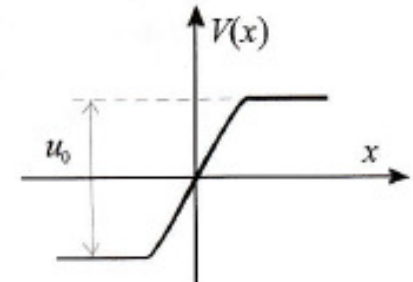
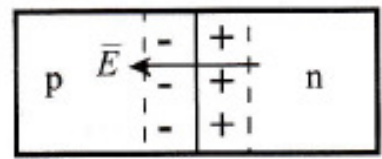
- b) Diodisillalla saadaan aikaan kokoaaltotasasuuntaus.



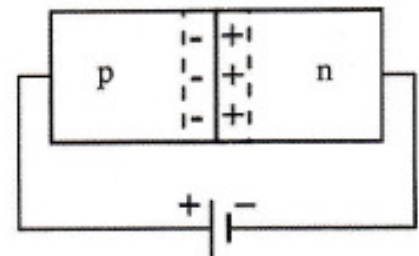
c) p-tyypin puolijohdteessa varauksenkuljettajina toimivat positiiviset aukot. P-tyypin puolijohdetta voidaan valmistaa sekoittamalla 14. ryhmän alkuaineesta (pii ja germanium) valmistettuun kiteeseen hiukan 13. ryhmän alkuainetta. Tällöin jokaista lisättyä atomia kohti jää kiderakenteeseen yhden elektronin vajuus eli aukko.

n-tyypin puolijohdteessa varauksenkuljettajina toimivat elektronit. N-tyypin puolijohdetta voidaan valmistaa sekoittamalla 14. ryhmän alkuaineesta valmistettuun kiteeseen hiukan 15. ryhmän alkuainetta. Tällöin jokaista lisättyä atomia kohti jää yksi elektroni osallistumatta sidoksiin.

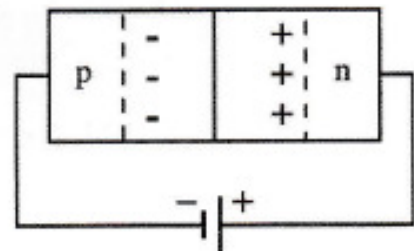
d) Kun p- ja n-tyyppinen puolijohde liitetään yhteen, syntyy pn-rajapinta. Rajapinnan lähellä elektroneja siirtyy rajapinnan yli täyttäen aukkoja p-tyypin puolijohdteessa. Tässä **rekombinaatiossa** molemmat varauksenkuljettajat häviävät. Rajapinnan ympäristöön syntyy tyhjennysalue. Tyhjennysalue varautuu p-puolella negatiivisesti ja n-puolella positiivisesti, joten rajapintaan syntyy sähkökenttä ja potentiaaliero eli jännite. Syntyvää jännitettä kutsutaan **kynnysjännitteeksi**.



Jos diodiin kytketään ulkoinen jännitelähde siten, että + napa kytketään p-puoleen, varauksenkuljettajat siirtyvät kohti rajapintaa. Kun ulkoinen jännite ylittää kynnysjännitteen, diodissa kulkee virta. Se on kytketty **päästösuuntaan**.



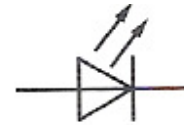
Jos diodi kytketään toisinpäin kasvattaa ulkoinen jännite potentiaalieroa rajapinnassa, jolloin varauksenkuljettajat siirtyvät poispäin rajapinnasta eikä diodi läpäise sähkövirtaa. Se on kytketty **estosuuntaan**.



(ks. Arminen-Valjakka: Fysiikan ylioppilastehtävät ratkaisuihin, MFKA)

LED

LED (Light Emitting Diode) eli **hohtodiodi** (loistediodi) eli ledi on puolijohdekomponentti, joka synnyttää valoa, kun siihen johdetaan sähkövirtaa



= pn-puolijohdeliitos, jossa pn-rajapinnassa osa p-aineen aukoista liikkuu n-tyyppisen aineen sisään ja osa n-aineen elektroneista liikkuu p-aineen sisään, jolloin nämä yhtyvät (rekombinoituvat) jatkuvasti tyhjennysalueella. Tällöin virta kulkee puolijohdediodinläpi.

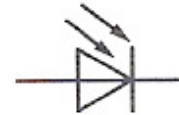
Elektronien kulkiessa rajapinnan läpi ja yhtyessä aukkoihin syntyy energiaa valon muodossa.

käyttö:

- merkkivalona, valokilvissä, valaisimissa, kaukosäätimissä, valoantureissa,
- tietoliikenteen merkki- ja ohjausvaloissa,
- merenkulun merkkipoijuissa ja majakoissa
- konserttien ja joukkotapahtumien näyttöseininä (LED-Screen)

Fotodiodi (valokenno, aurinkopaneeli)

= valolle herkkä estosuuntaan kytketty diodi, jossa virta saadaan kulkemaan, kun pn-rajapintaa valaistetaan näkyvällä valolla

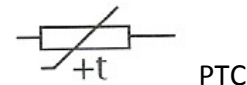


Muita puolijohdeita:

- termistorit eli puolijohdevastukset:

PTC-puolijohde (Positive Temperature Coefficient)

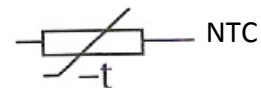
= puolijohde, jonka resistanssi kasvaa lämpötilan kasvaessa



PTC

NTC-puolijohde (Negative Temperature Coefficient)

= puolijohde, jonka resistanssi pienenee lämpötilan kasvaessa



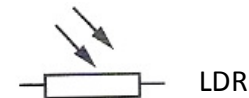
NTC

käyttö:

- termostaatit, palohälyttimet,

LDR-vastus (Light Dependent Resistor)

= valovastus, jonka resistanssi pienenee, kun valaistus kasvaa



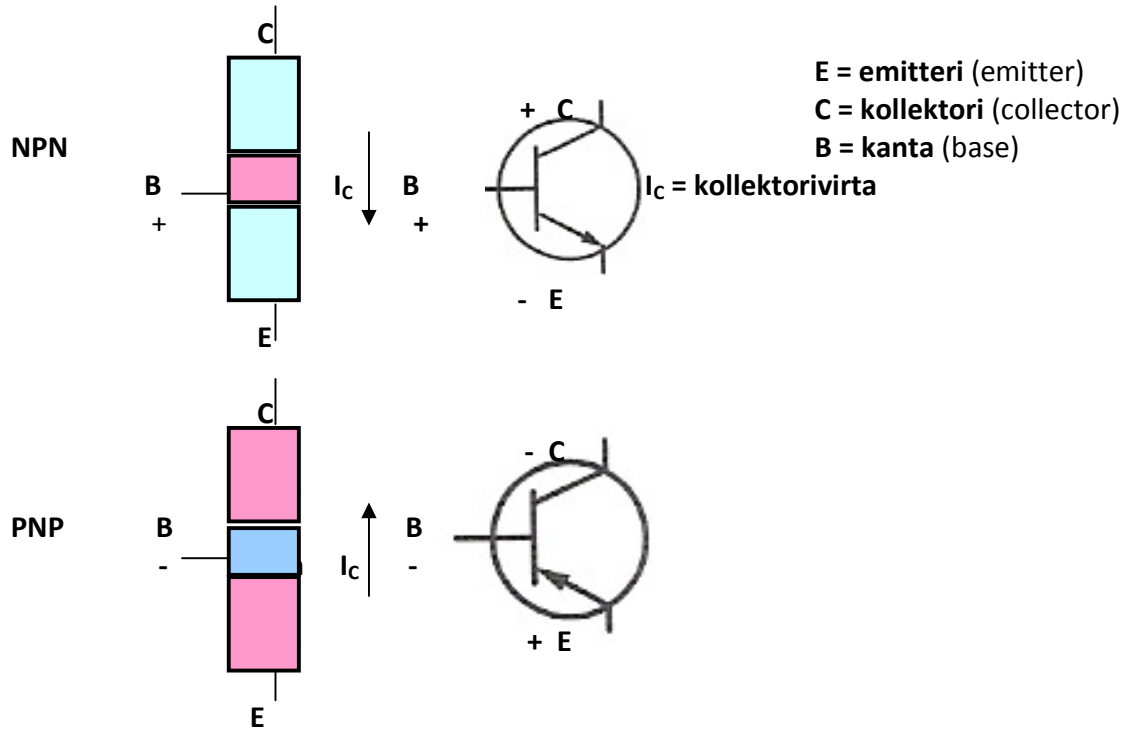
LDR

käyttö:

- mittaus- ja säätösystemit, varashälyttimet, hämäräkytkimet, ovien ja porttien avaamis- ja sulkemislaitteet, kappalelaskurit, kameroiden valotusmittarit, ...

TRANSISTORI

= puolijohdesysteemi, jossa on toisiinsa liitetty kolme puolijohdealuetta, jotka voivat olla järjestyksessä npn tai pnp → **nnp-transistori ja pnp-transistori**



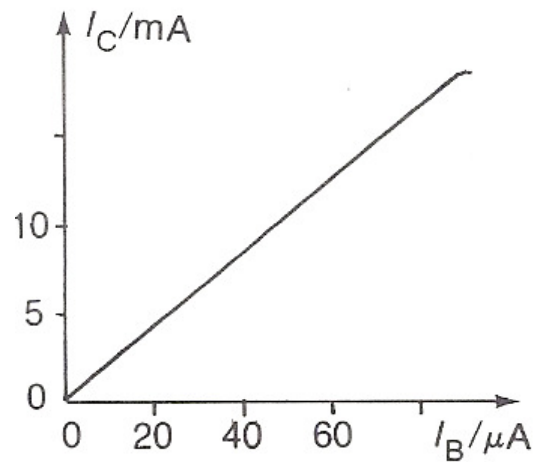
- transistorissa on periaatteessa kaksi puolijohdediodia vastakkain, jossa äärimäiset osat ovat kollektori C ja emitteri E ja keskimäinen on kanta B.
- kollektori ja kanta kytketään aina samanmerkkiseen jännitteeseen
- koska transistorissa on aina kaksi pn-liitosta vastakkain, toinen liitoskohta on estosuunnassa
- emitterin (E) ja kannan (B) välillä on tavallisesti päästösuuntainen jännite, kun transistoria käytetään vahvistimena
- sähkövirran kuljettajat voivat siirtyä helposti kannan ja emitterin välisen pn-liitoksen yli, kun niiden välillä on päästösuuntainen jännite
- kantavirran muutokset vaikuttavat tietyllä kantavirran alueella lineaarisesti kollektorivirtaan
- transistorin käyttö vahvistimena perustu siihen, että pieni kantavirran muutos aiheuttaa suuren muutoksen kollektorivirtaan

→ pienellä kantavirralla ohjataan suurta kollektorivirtaa

Pelkässä kollektorissa ei kulje sähkövirtaa pientä vuotovirtaa lukuun ottamatta, mutta pienen kantavirran avulla vähennetään transistorin resistanssia kollektoripiirissä.

Transistorin toimintaa voidaan verrata vastukseen, jonka resistanssi voidaan muuttaa pienellä ohjausvirralla

Kuva.
Kollektorivirran I_C riippuvuus
kantavirrasta I_B .



Kollektorivirran I_C ja emitterivirran I_E suhde $\frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$ on transistorin **virranvahvistuskerroin**, joka saadaan transistorin ominaiskäyrän suorasta osasta fysikaalisena kulmakertoimenä. (Lehto-Luoma: Fysiikka 5, Tammi, 5-8. p. 2003, s. 169).

käyttö:

- pienet virran vaihtelut kanta-emitteripiirissä (kantavirta I_B) saavat aikaan suuria virran vaihteluita kollektori-emitteripiirissä (kollektorivirta I_C)
 - transistoria käytetään heikkojen virtojen vahvistamiseen; äänisignaalin vahvistus kaiuttimessa,
 - transistori kytkimenä; hämäräkytkin, palohälytín, ...

Linkkejä:

<http://www.rautavaara.fi/koulut/oppima/elektro/puolijohteet.html>

<http://tfy.tkk.fi/kurssit/Tfy-3.15xx/Teoria/tyo32.pdf>

<http://kehittaminen.turkuamk.fi/hgylen/ElektPerusteet/Elektroniikan%20perusteet.PDF>

<http://nanokoulu.jyu.fi/verkkokurssi/aineen-rakenne-ja-sahkonjohtavuus/sahkonjohtavuus-nanotieteissa-n-ja-p-tyypin-puolijohteet>

...