

# ANALOGIAELEKTRONIIKKA

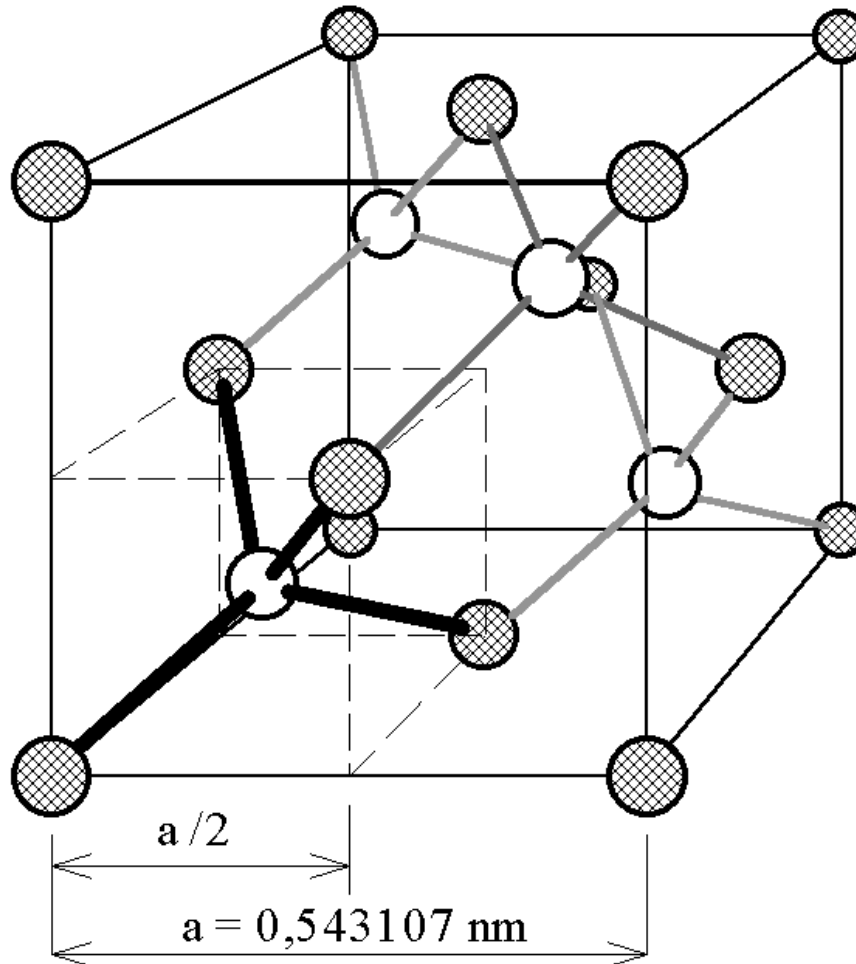
## Luku 4

PN-liitos

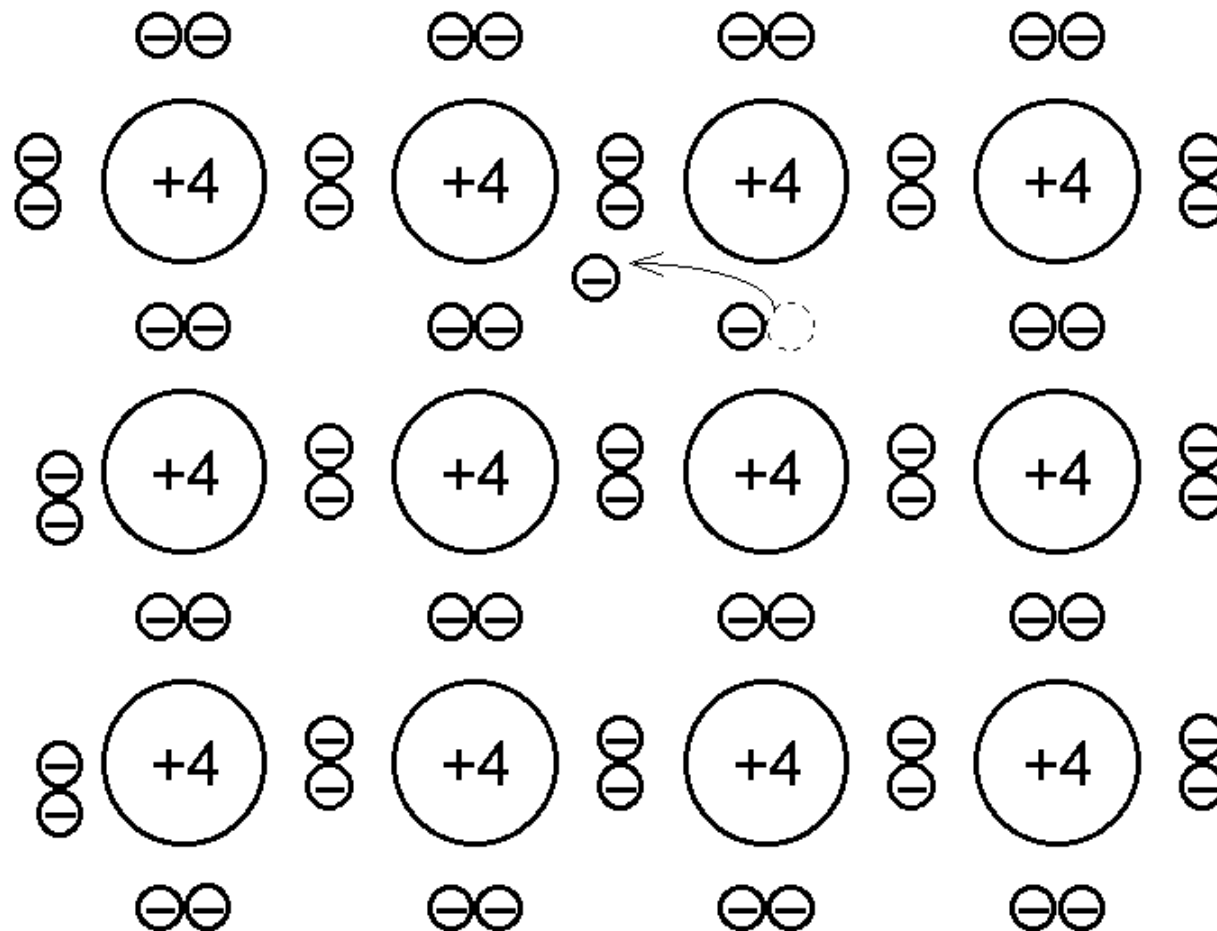
Diodin peruskytkennät ja-  
sovellukset

Zenerdiodi

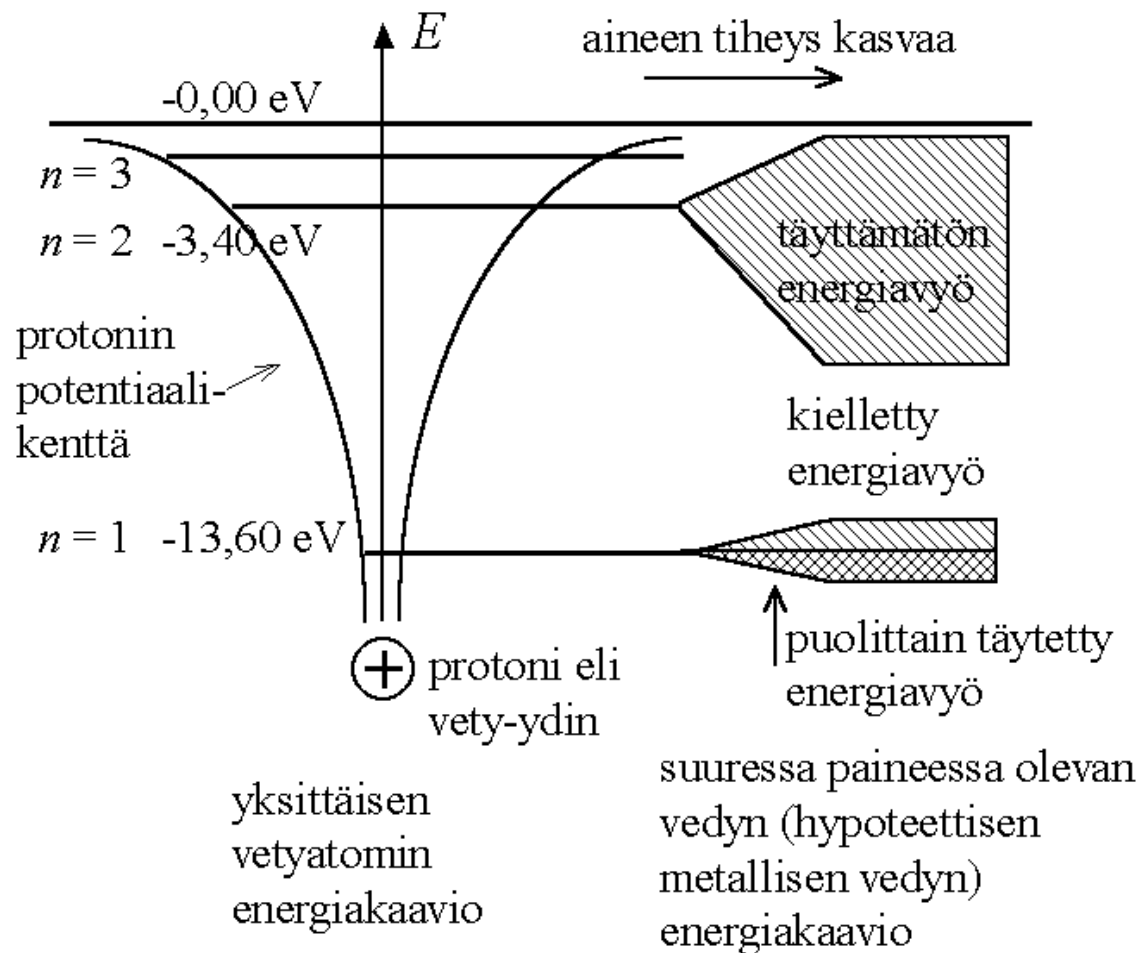
## Kuva 4.1. Piin kiderakenne



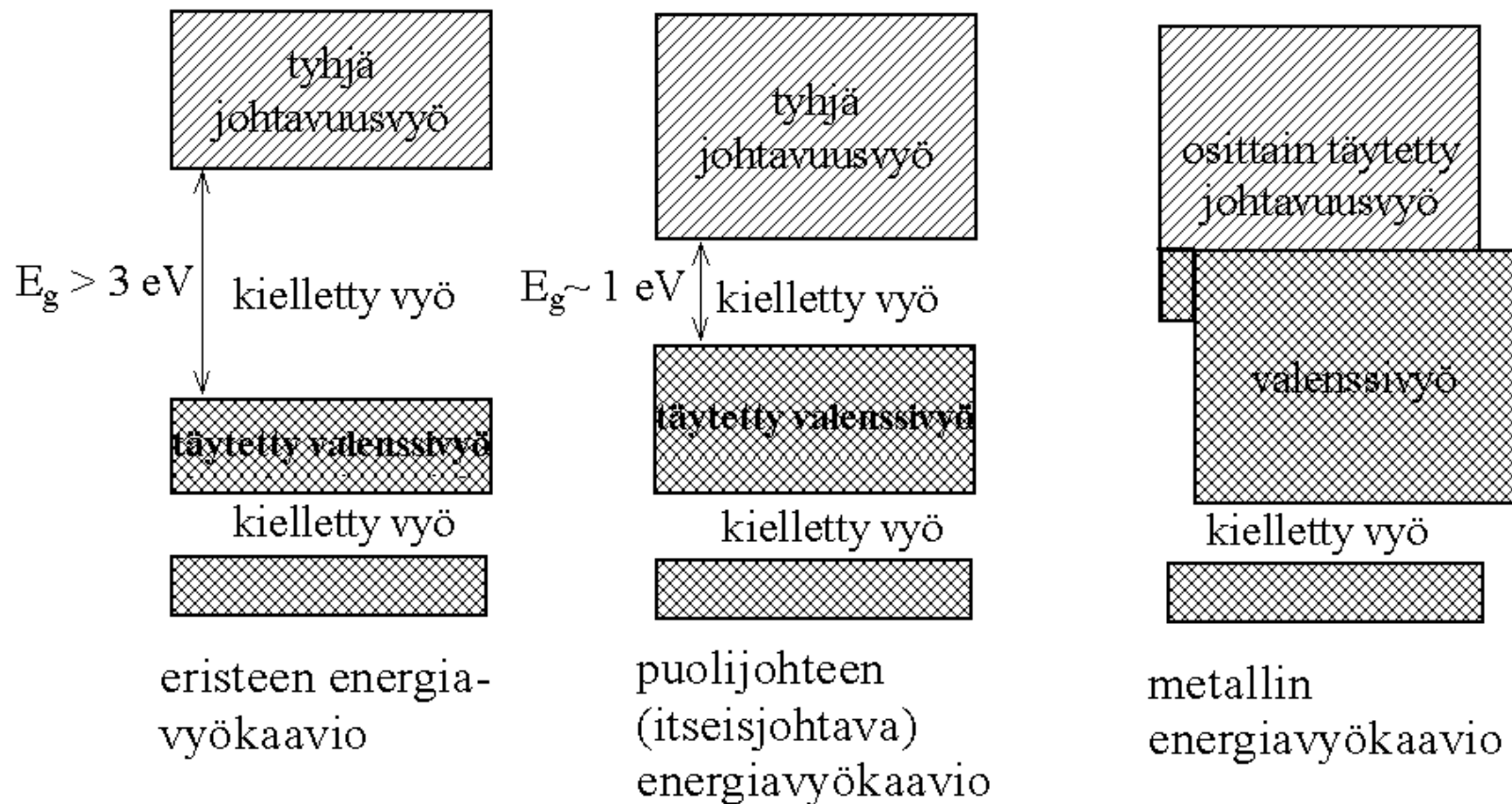
## Kuva 4.2. Piin tai germaniumin sidosten periaatekuva



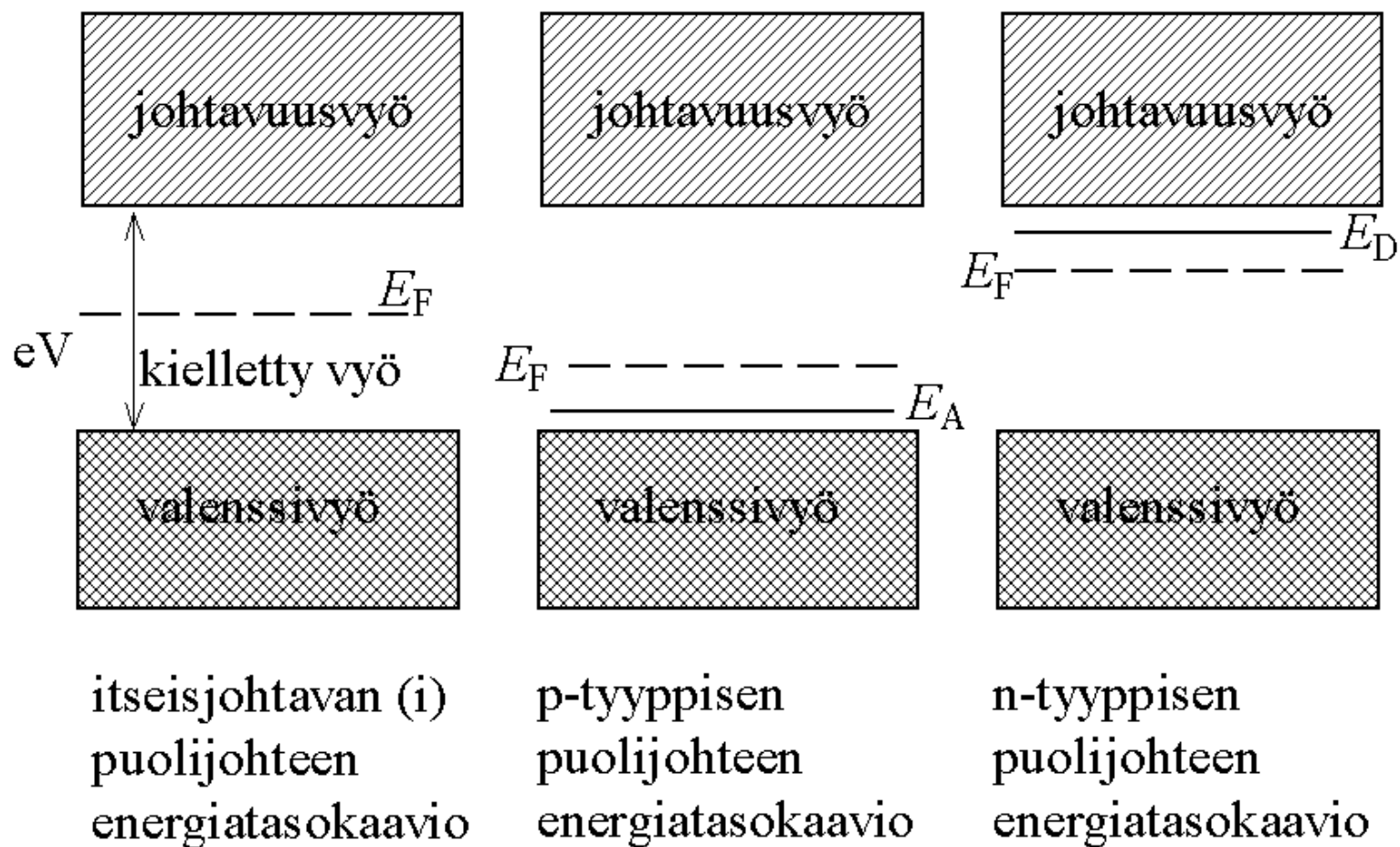
## Kuva 4.3. Vedyn energiatasokaavio ja energiavyöt



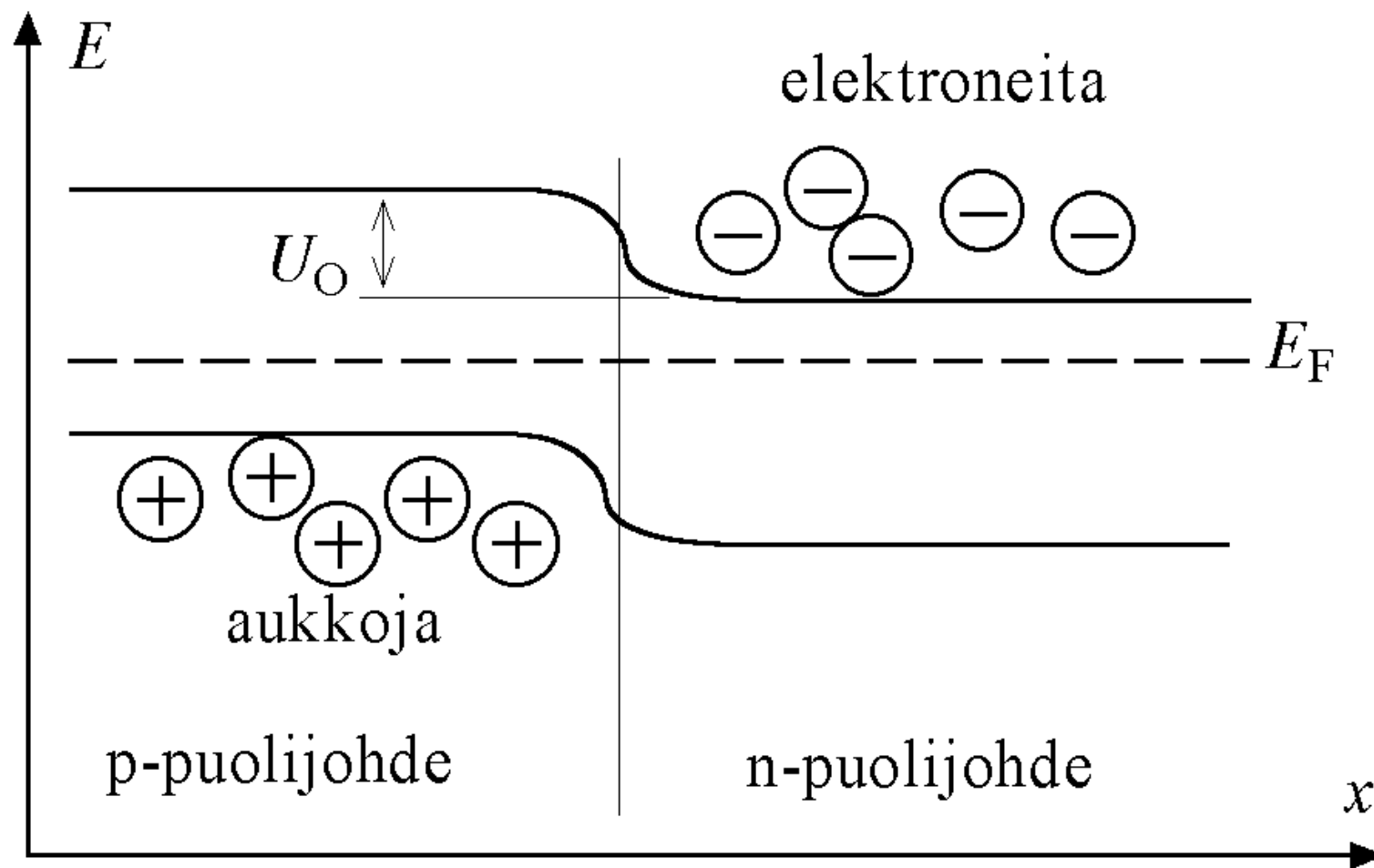
## Kuva 4.4. Eristeen, puolijohteen ja metallin energiavyökaaviot



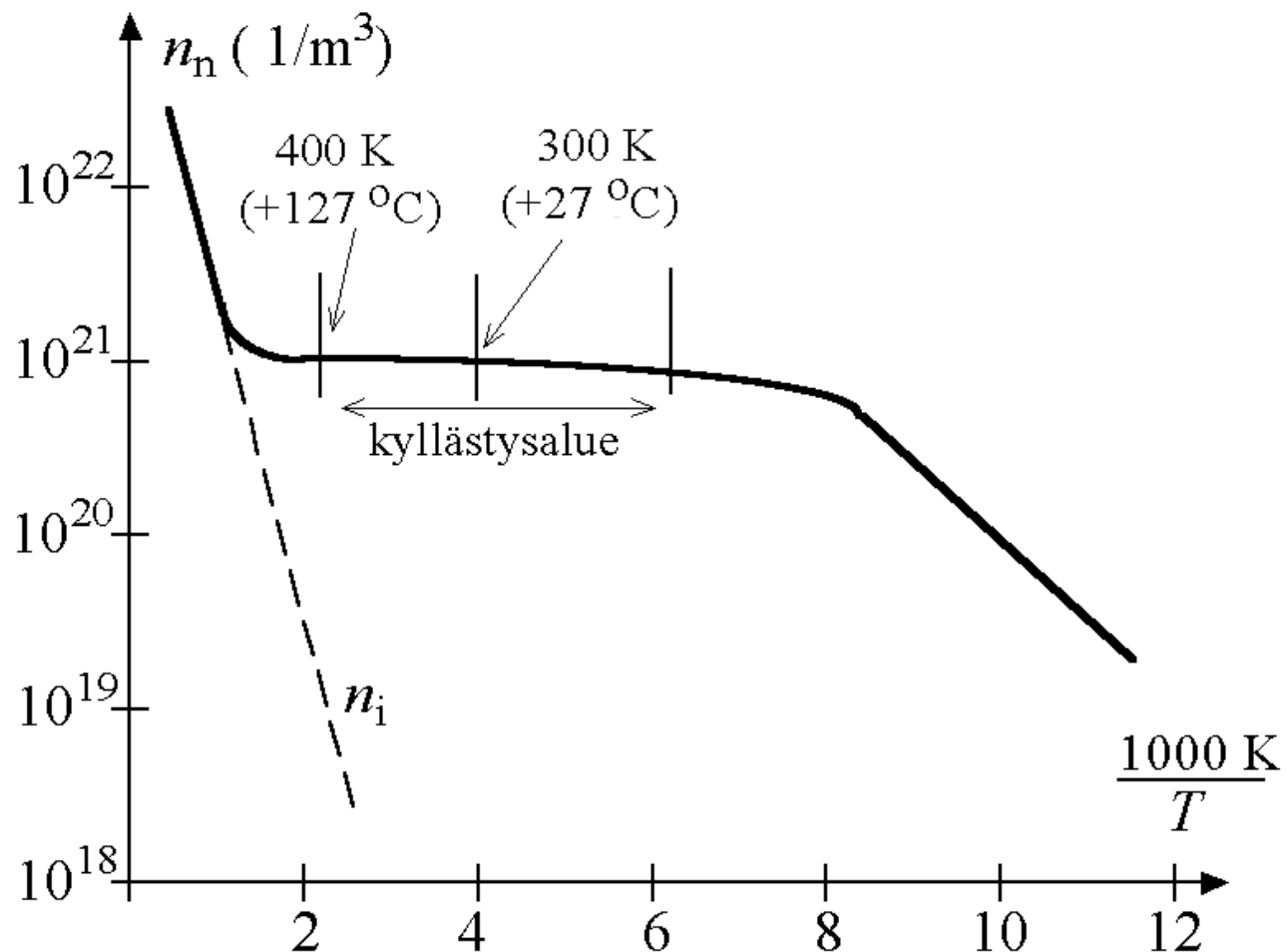
## Kuva 4.5. Itseisjohtavan p- ja n-tyyppisen puolijohteen energiakaaviot



**Kuva 4.6.** p- ja n-tyyppisten puolijohdeiden liitosjännitteen  $U_0$  muodostuminen

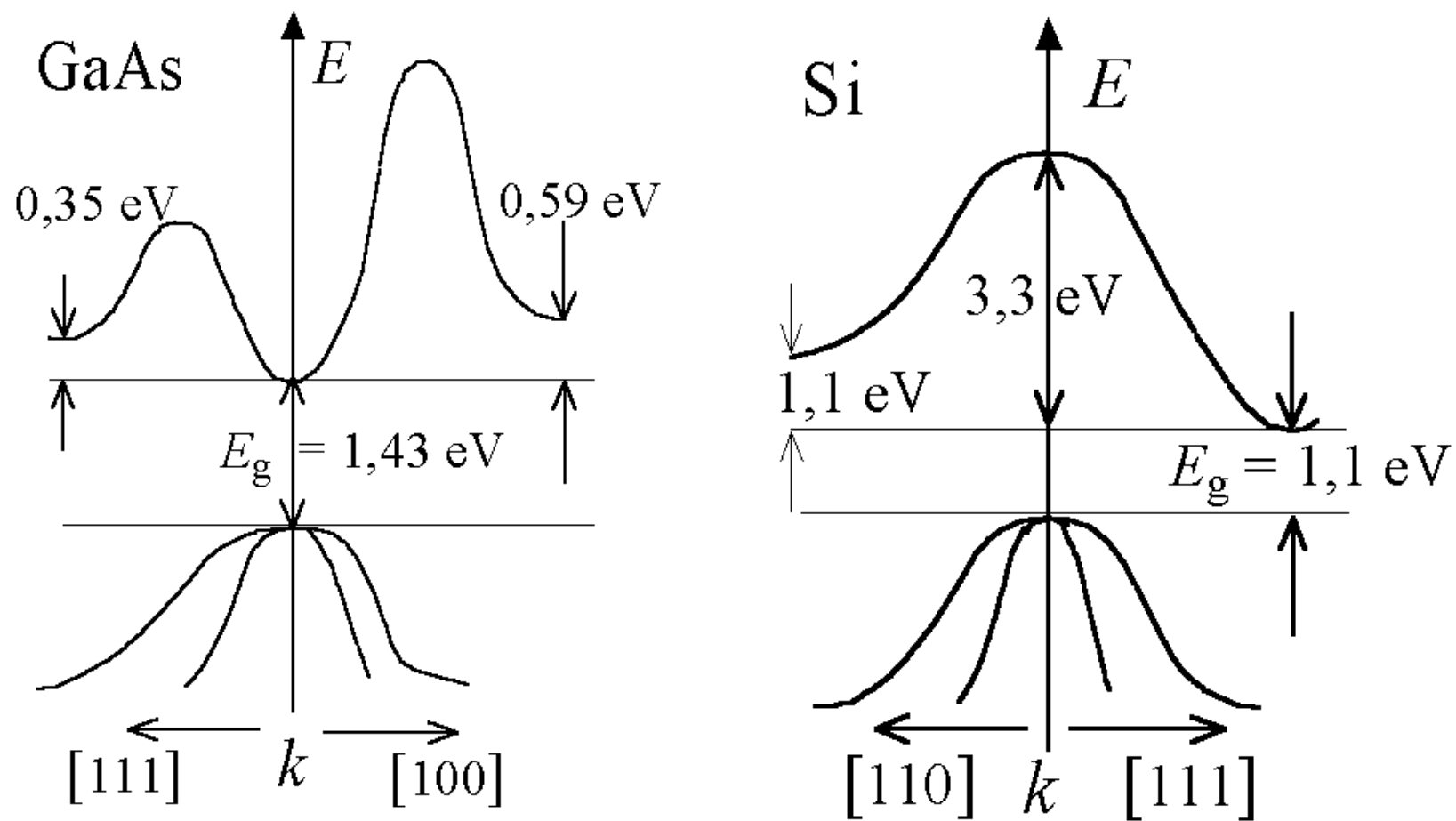


**Kuva 4.7.** Piipuolijohteen enemmistövarauksenkuljettajien tiheys  $n_n$  lämpötilan käänteisarvon funktiona

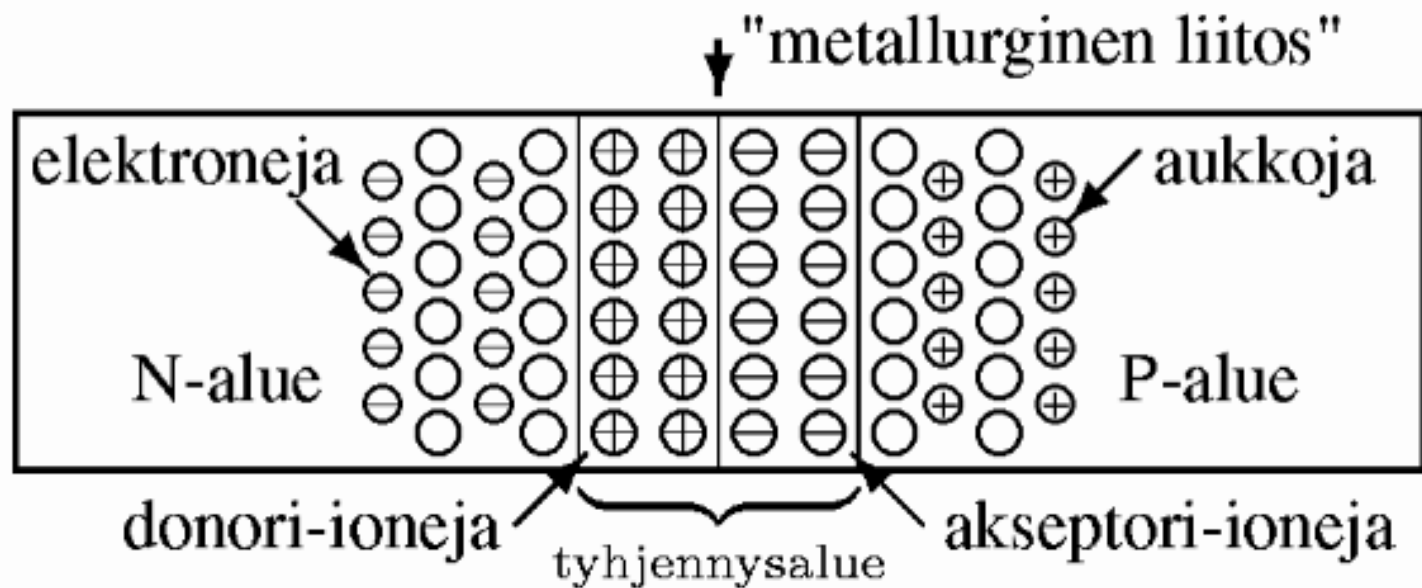




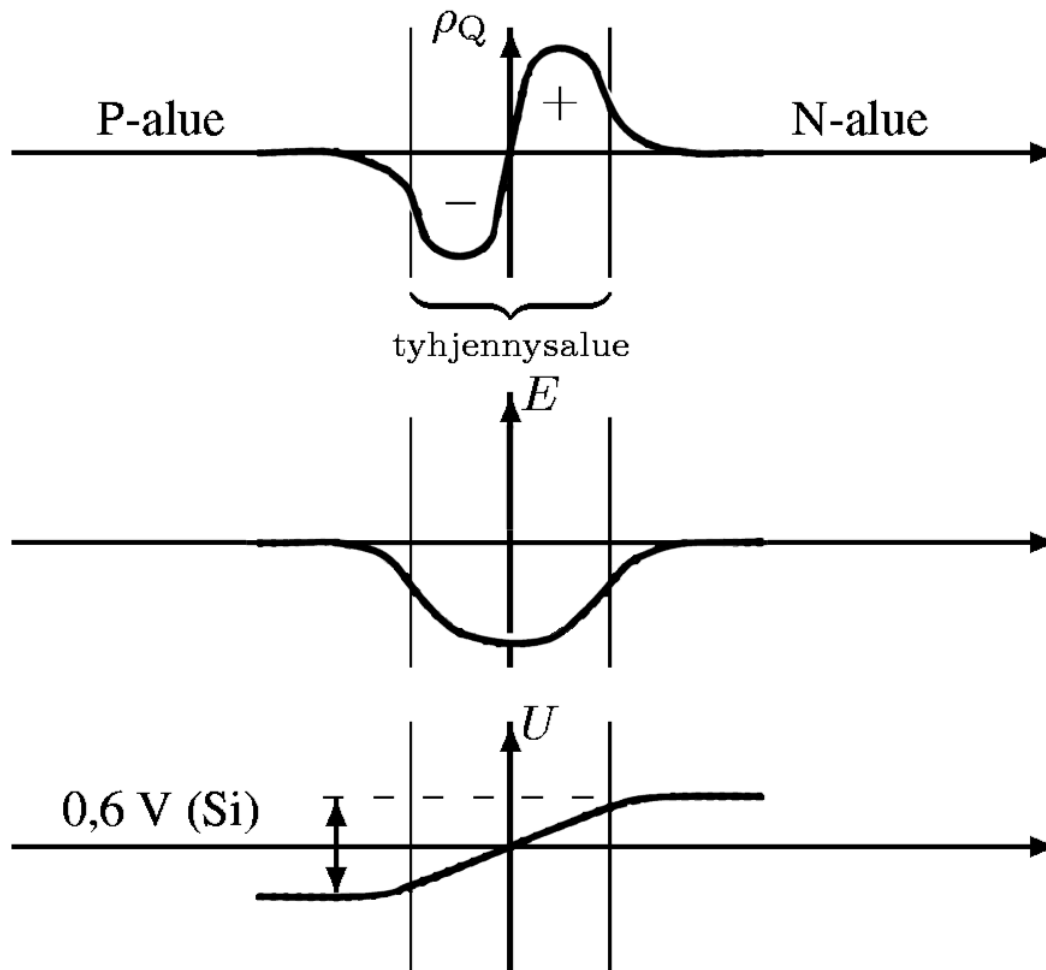
## Kuva 4.8. Galliumarsenidin ja piin energiavyökaaviot



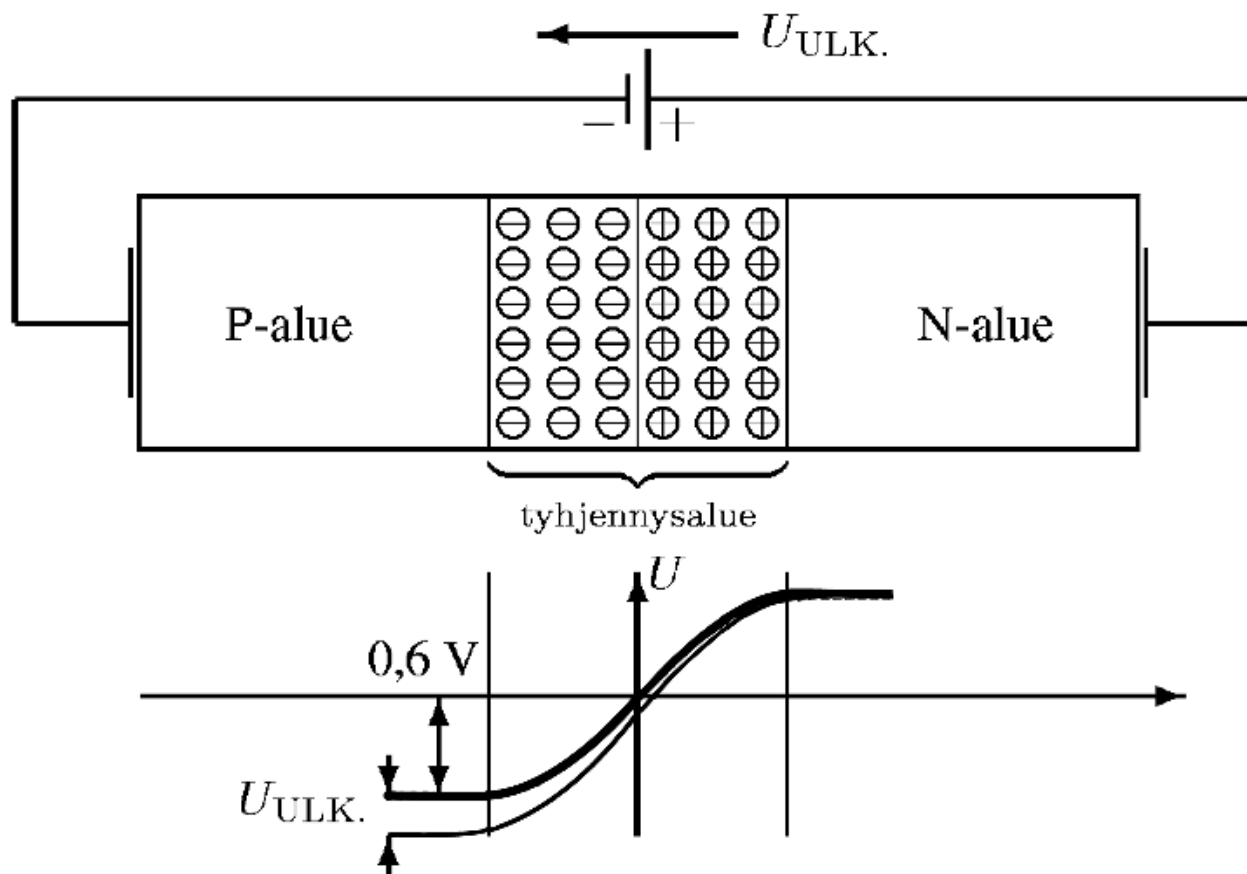
## Kuva 4.9. pn-liitos



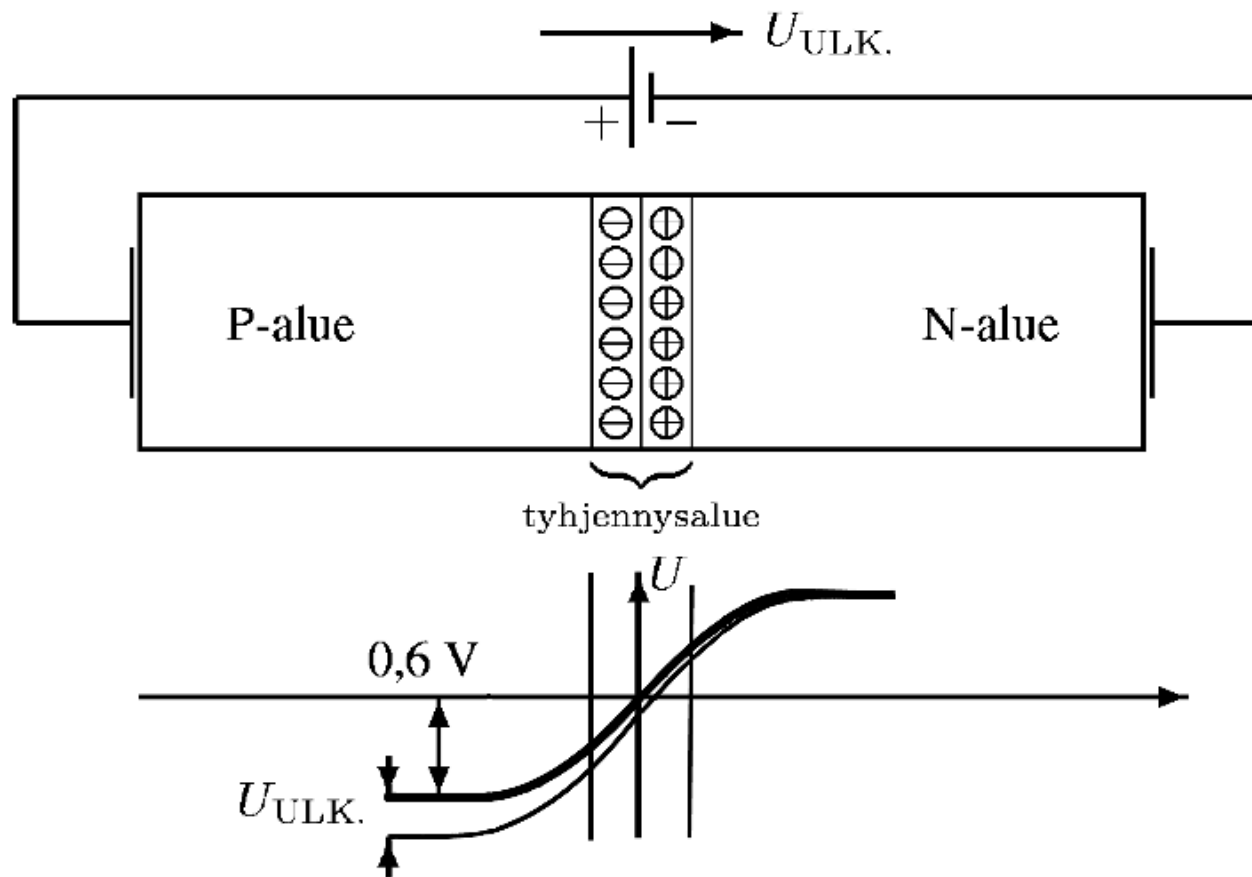
## Kuva 4.10. pn-liitoksen varausjakauma



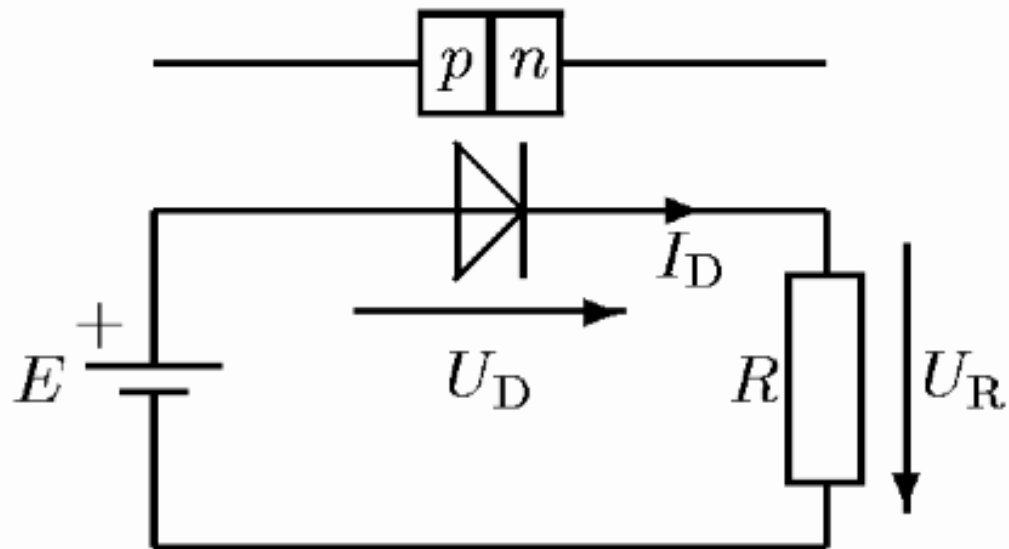
## Kuva 4.11. Ulkoinen vastajännite pn-liitoksessa



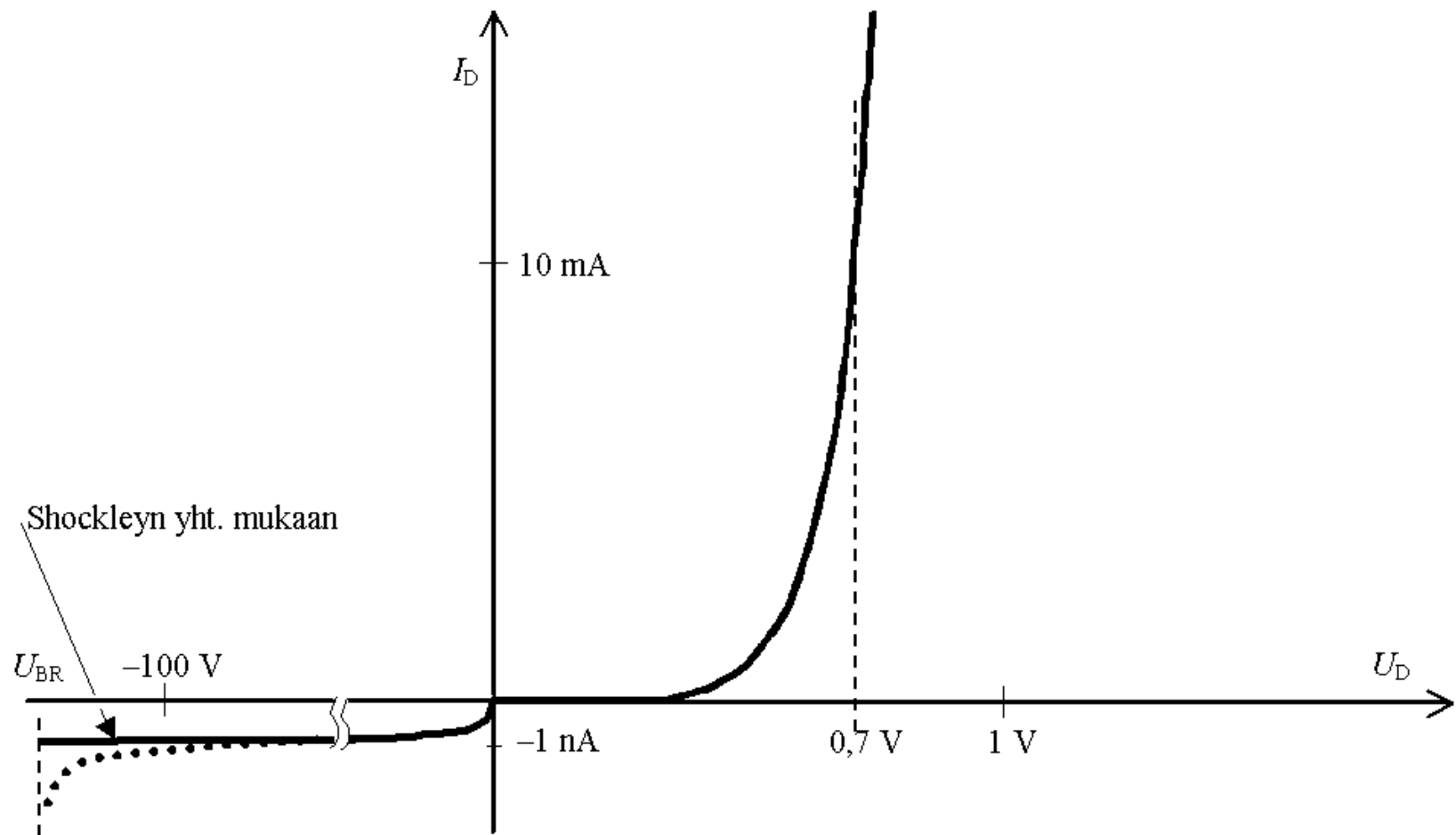
## Kuva 4.12. Ulkoinen myötäjännite pn-liitoksessa



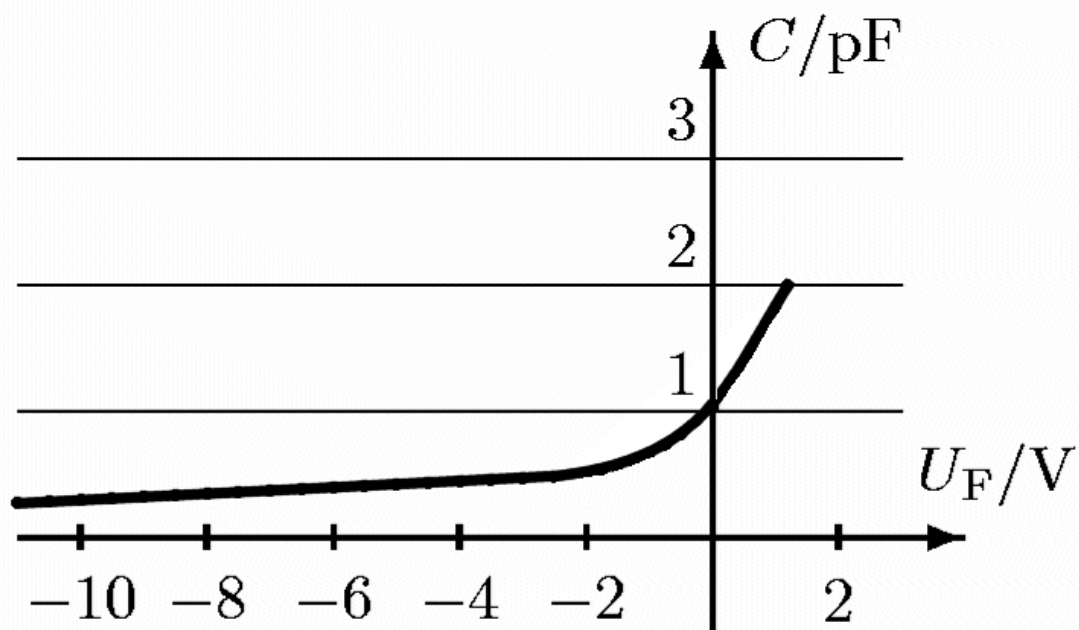
## Kuva 4.13. Puolijohdediodi ja pn-liitoksen suunta



## Kuva 4.14. Diodin virta-jännite-ominaiskäyrä

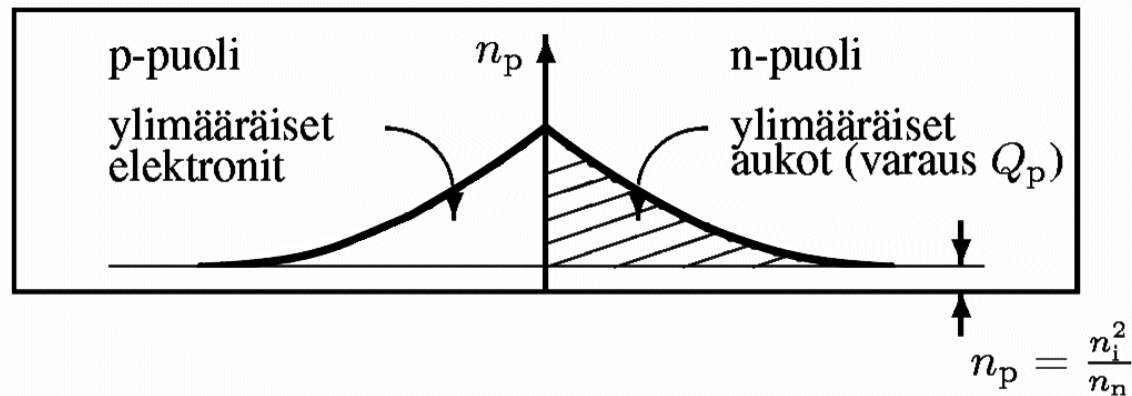


### Kuva 4.15. Tavallisen diodin kapasitanssin riippuvuus jännitteestä

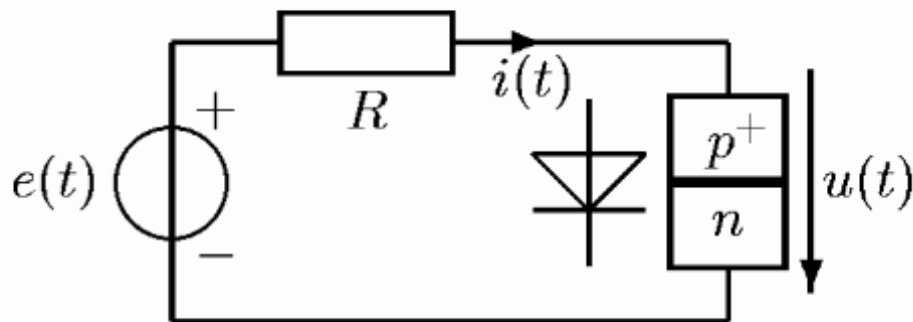




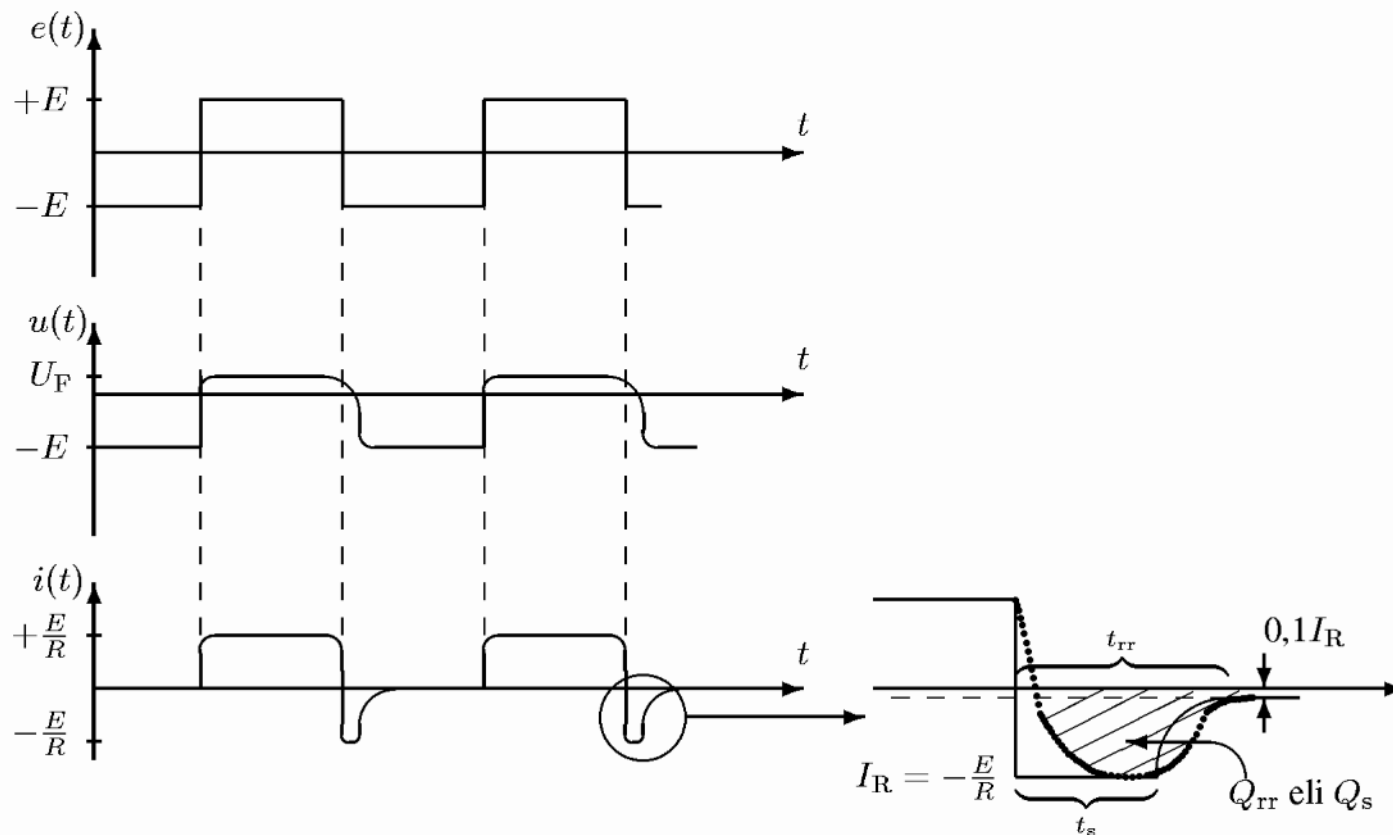
## Kuva 4.16. Diodin ylimäärävarauksen jakautuminen



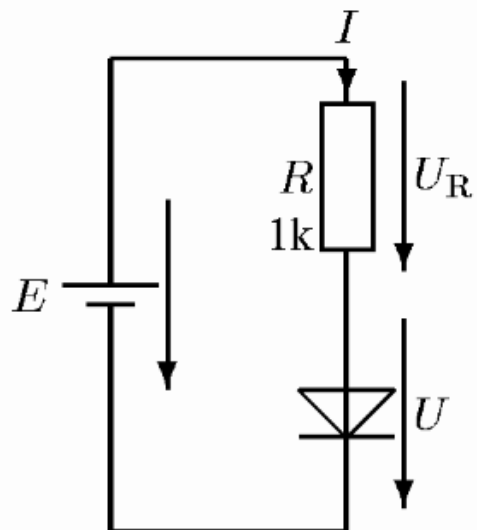
## Kuva 4.17. Diodi ja muuttuva lähtöjännite $e(t)$



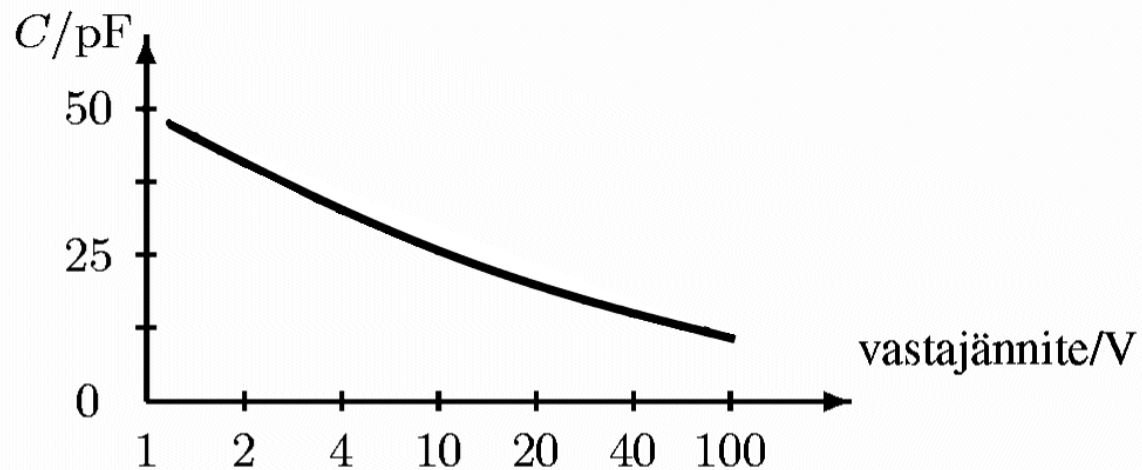
## Kuva 4.18. Diodipiirin lähdejännite $e(t)$ , diodin jännite $u(t)$ ja virta $i(t)$



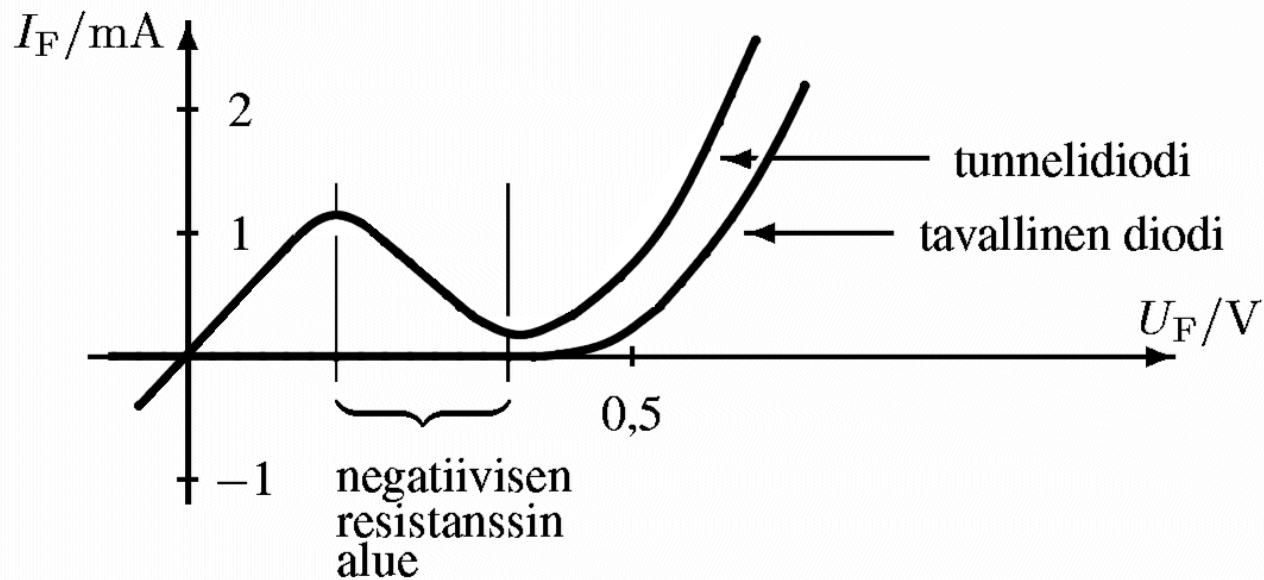
## Tehtävä 4.3.



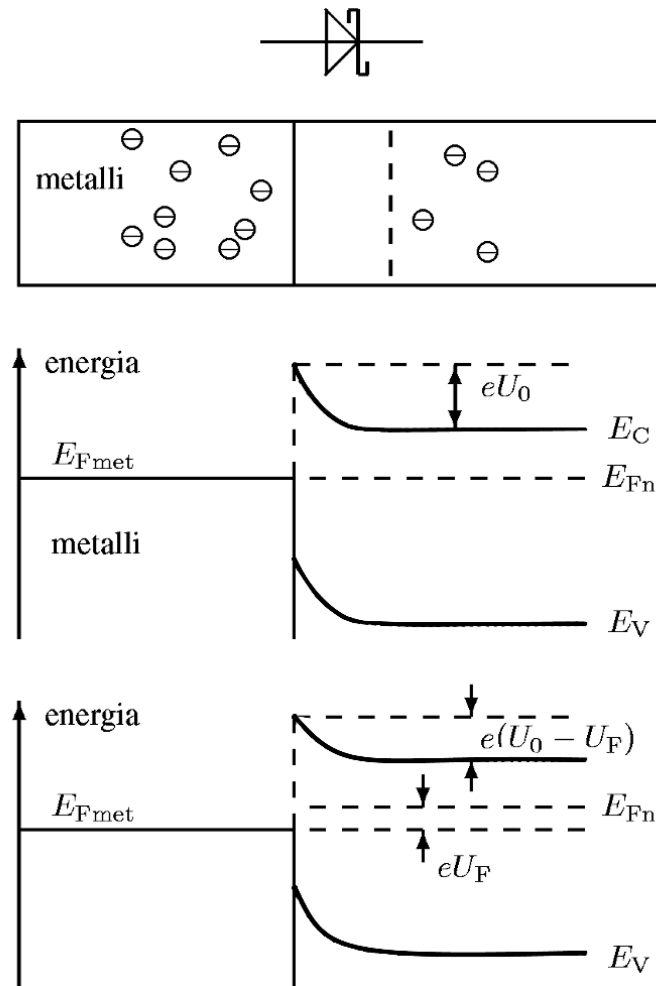
## Kuva 4.19. Kapasitanssidiodin kapasitanssi



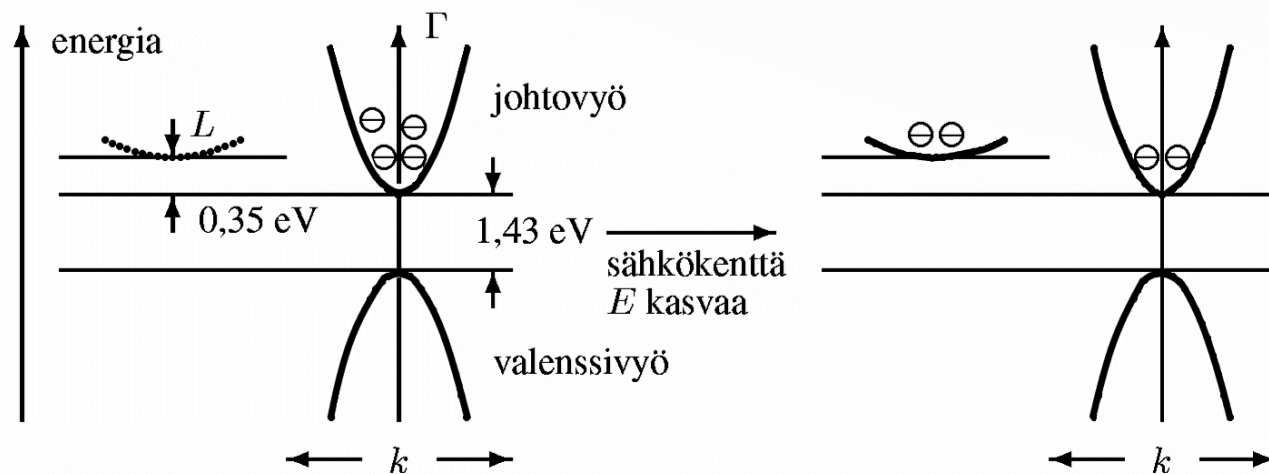
## Kuva 4.20. Tunnelidiodin ominaiskäyrä



## Kuva 4.21. Schottky-liitos ja 2 energiatasopiirrosta

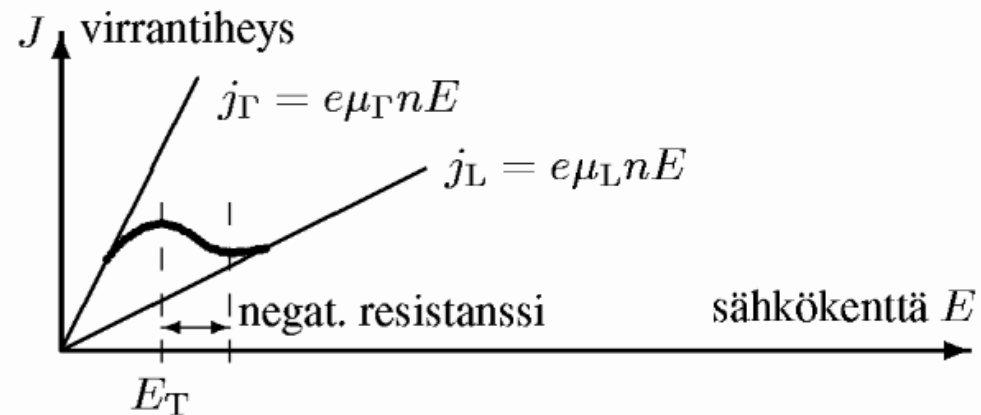


## Kuva 4.22. Elektronien siirtyminen galliumarsenidin sivuminimiin

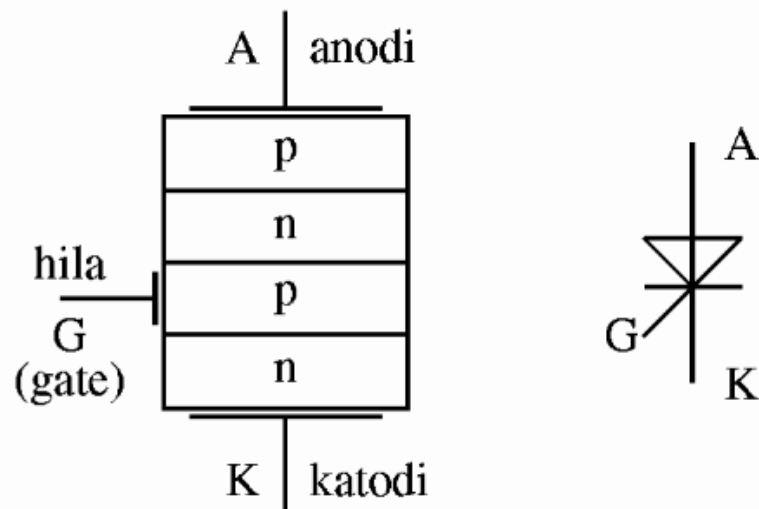




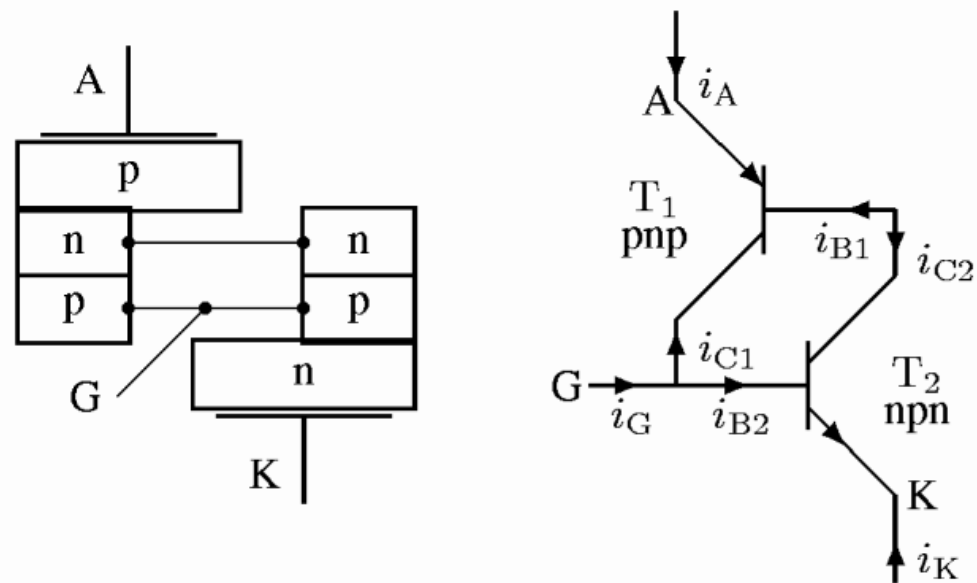
## Kuva 4.23. Negatiivisen resistanssin muodostuminen GaAs-puolijohteessa



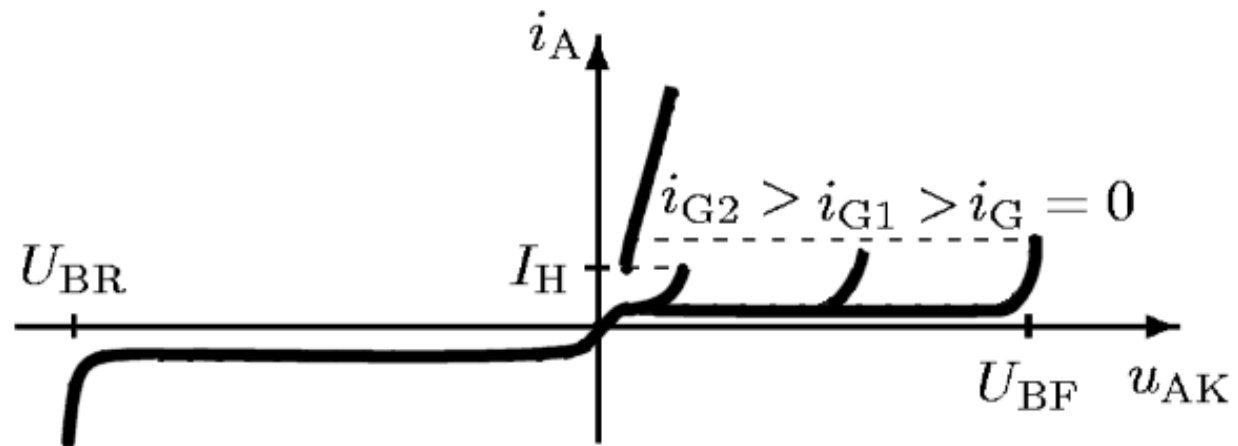
## Kuva 4.24. Tyristorin rakenne ja piirrosmerkki



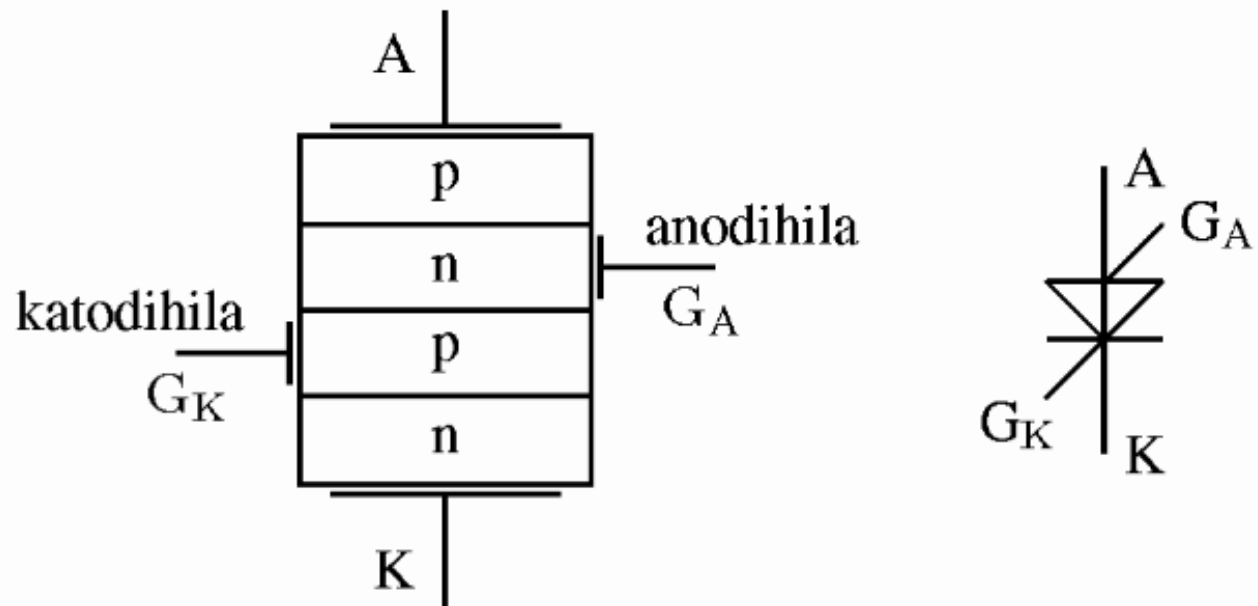
## Kuva 4.25. pnpn-kerrosten jakaminen kahdeksi transistoriksi



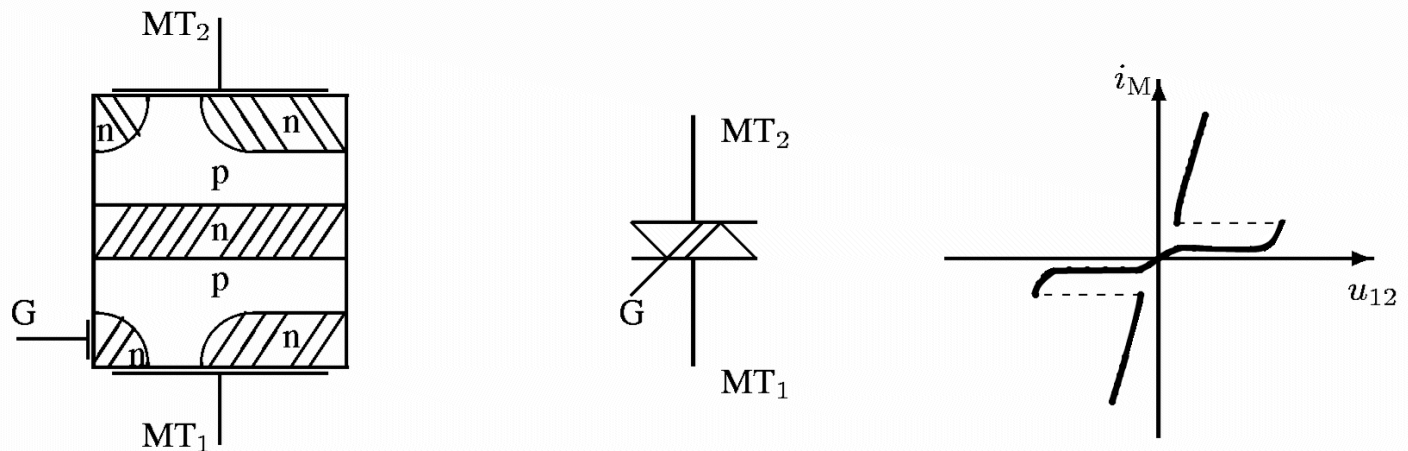
## Kuva 4.26. Tyristorin ominaiskäyrästä



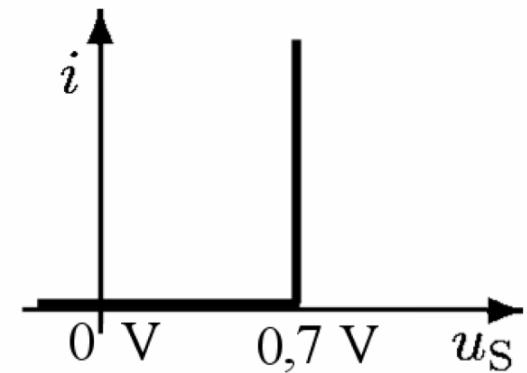
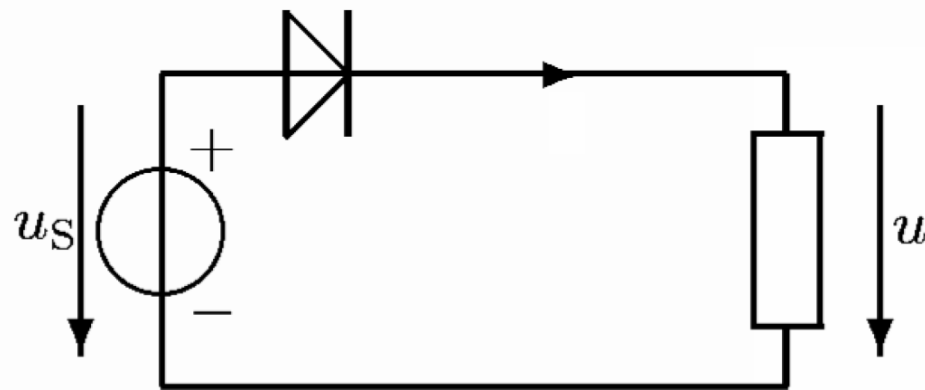
## Kuva 4.27. SCS-tyristorin rakenne ja piirrosmerkki



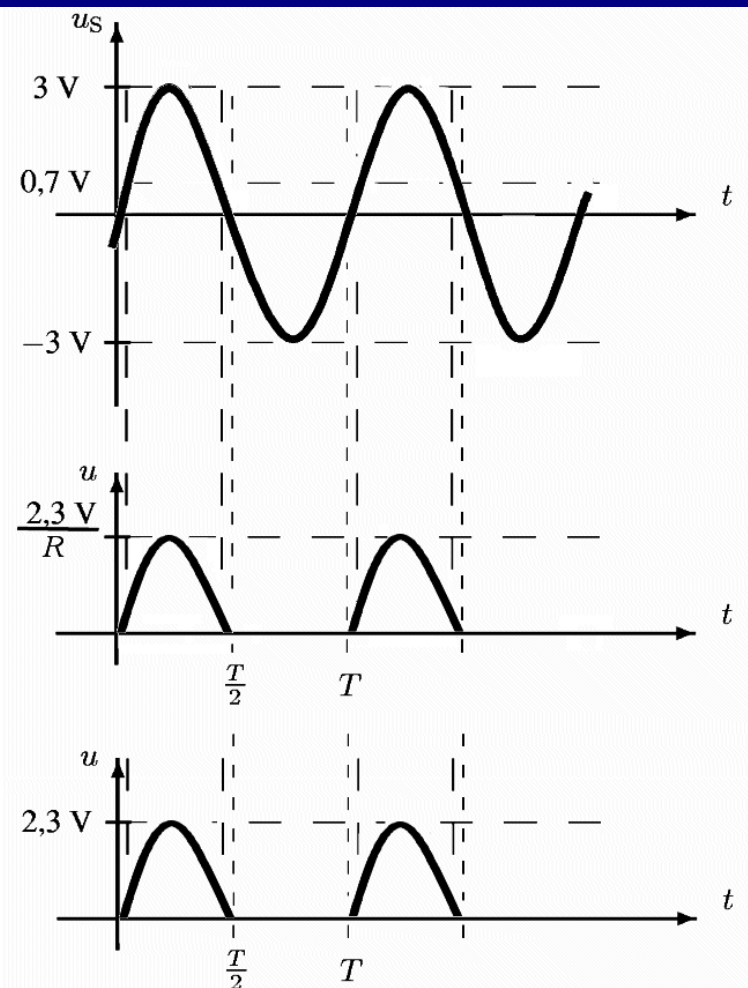
## Kuva 4.28. Triakin rakenne, piirrosmerkki ja ominaiskäyrä



## Kuva 4.29. Puoliaaltotasasuuntaaja ja diodin yksinkertaistettu ominaiskäyrä

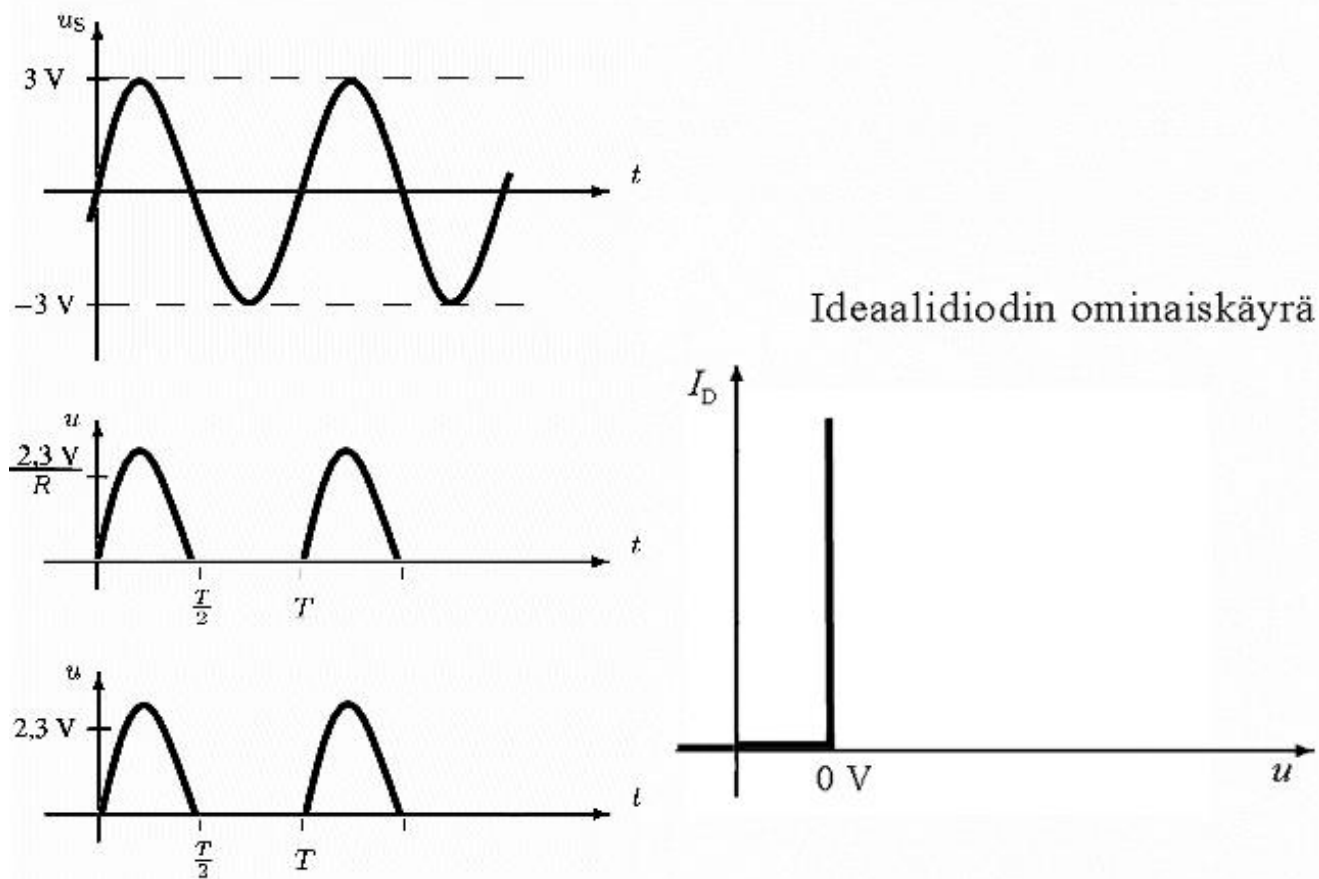


**Kuva 4.30.** Puoliaaltotasasuuntaajan lähtöjännite, kun jännitehäviö 0,7 V otetaan huomioon

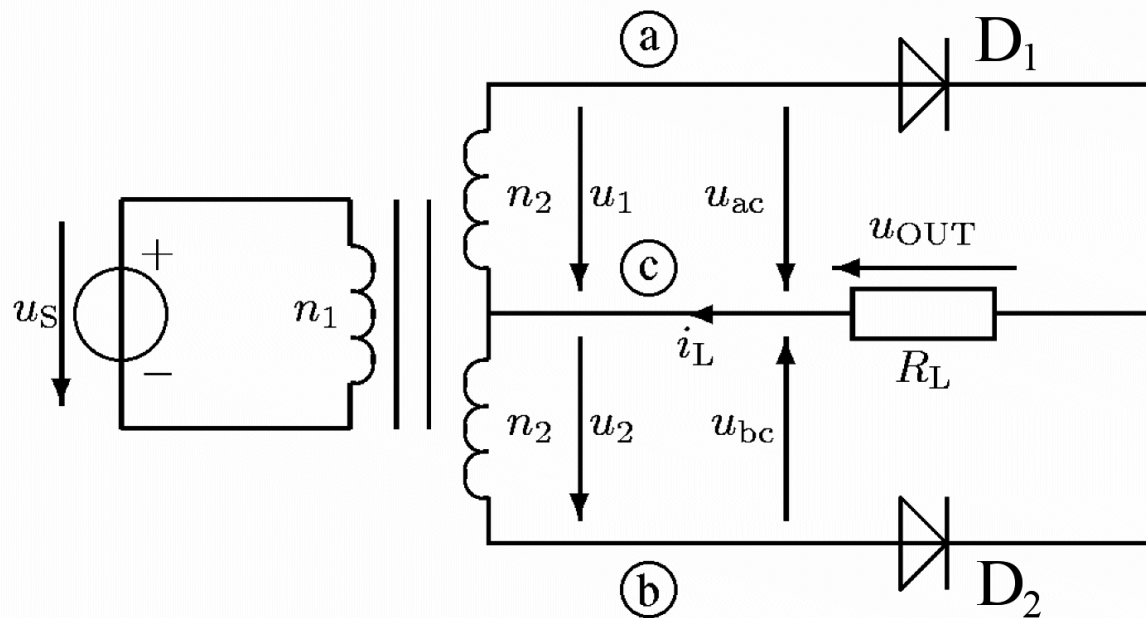




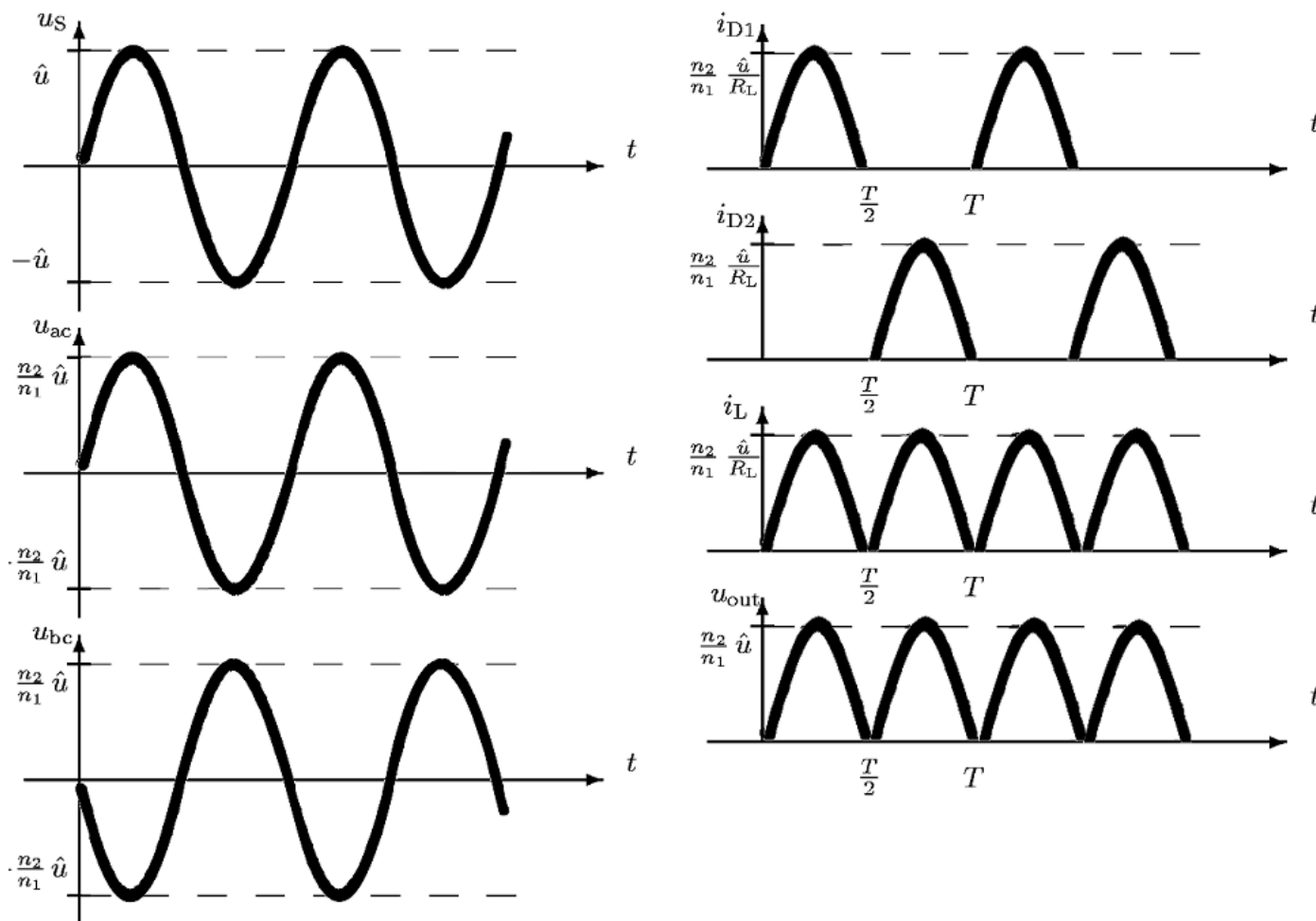
# Kuva 4.31. Puoliaaltotasasuuntaajan lähtöjännite, kun diodin oletetaan olevan ideaalinen



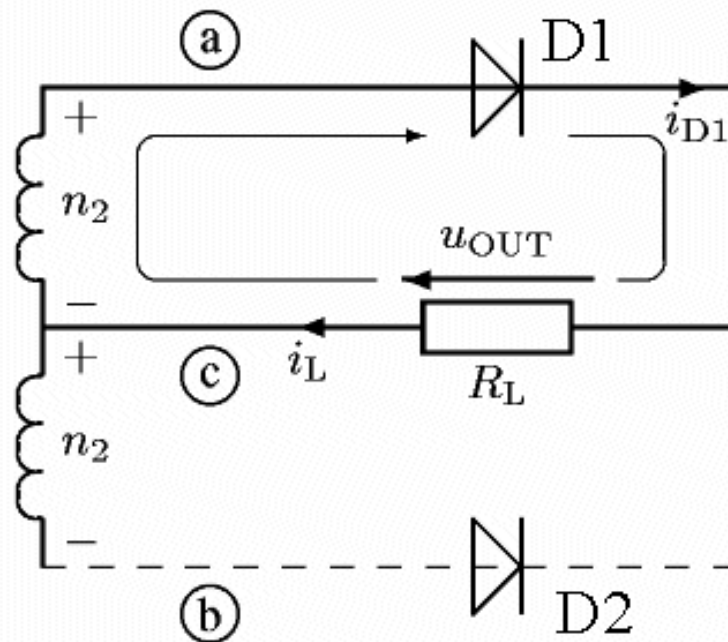
## Kuva 4.32. Kaksidiodinen kokoaaltotasasuuntaaja



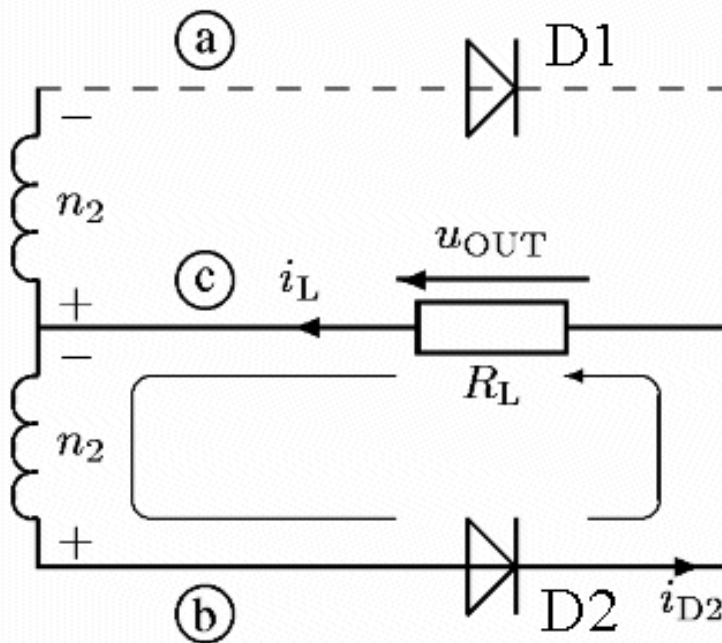
## Kuva 4.33. Jännitteet kokoaaltotasasuuntauksessa



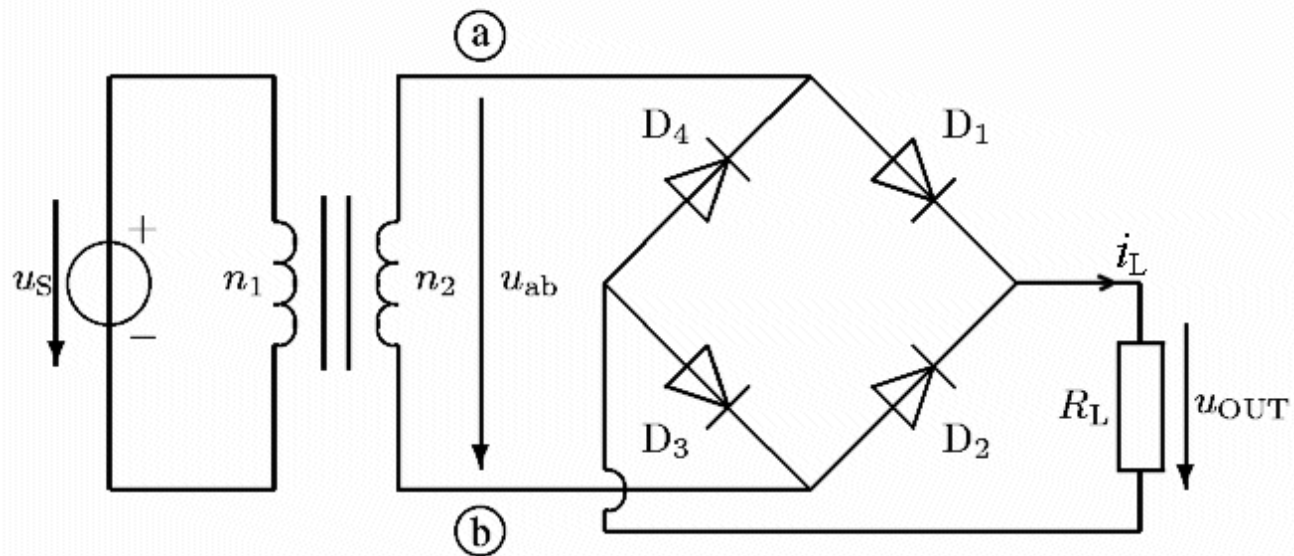
## Kuva 4.34. Positiivinen puolijakso



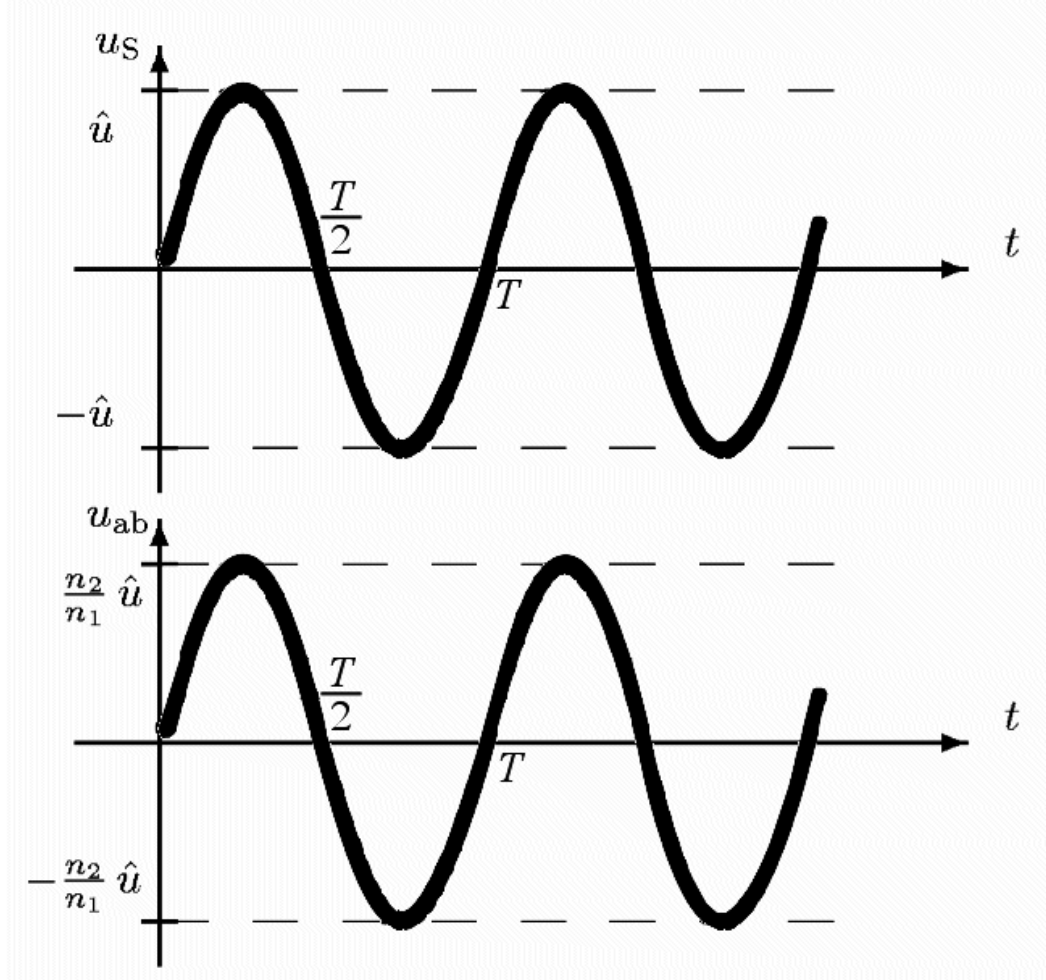
## Kuva 4.35. Negatiivinen puolijakso



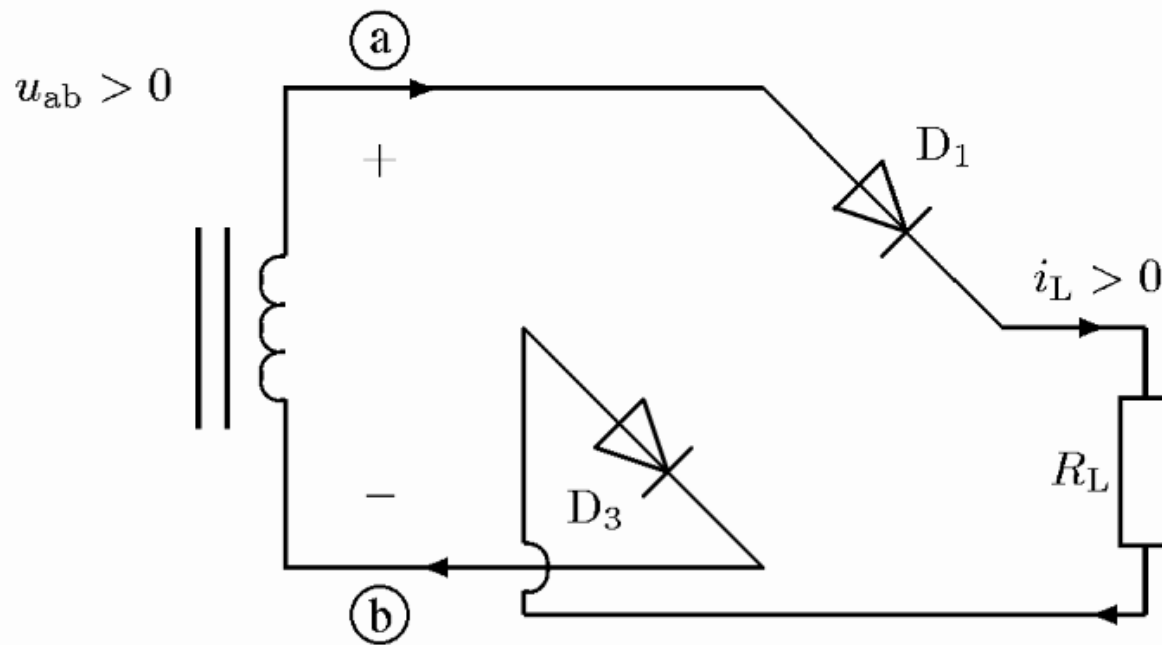
## Kuva 4.36. Tasasuuntaussilta



## Kuva 4.37. Muuntajan vaihtojännitteet

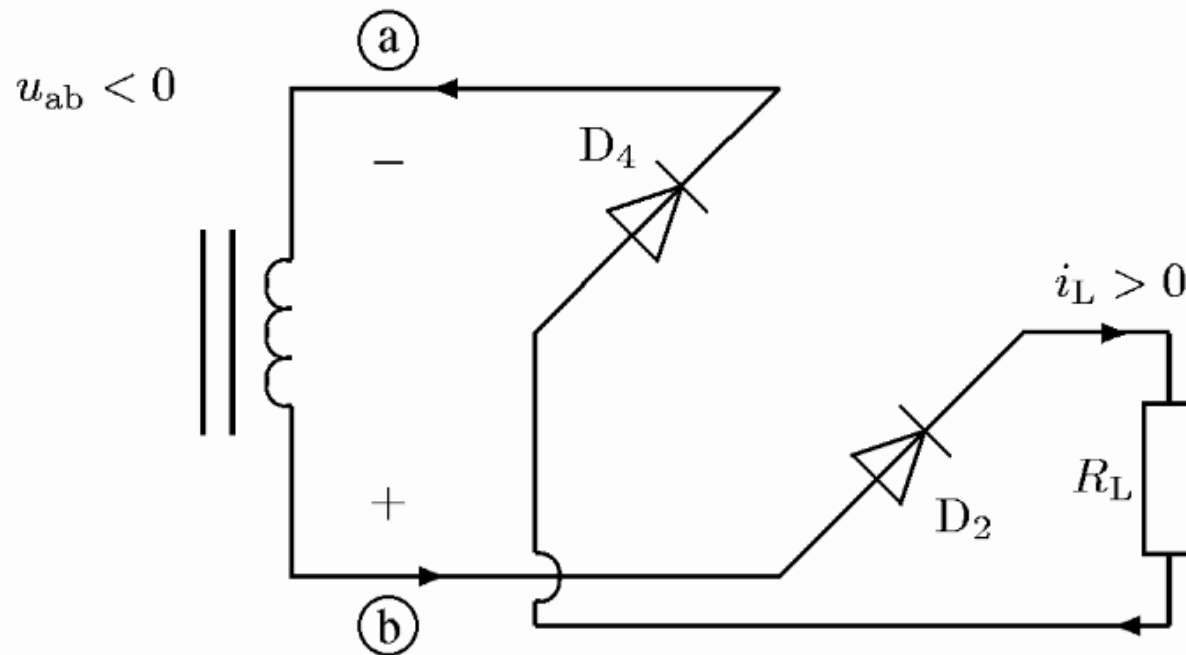


## Kuva 4.38. Siltakytkentä: positiivinen puolijakso

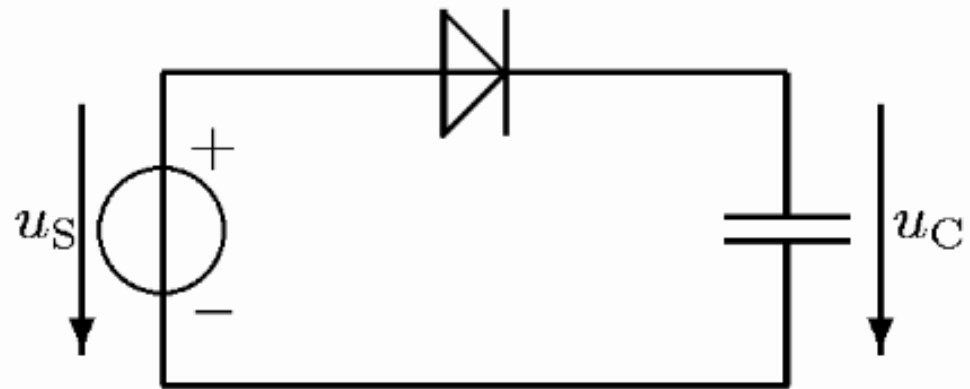




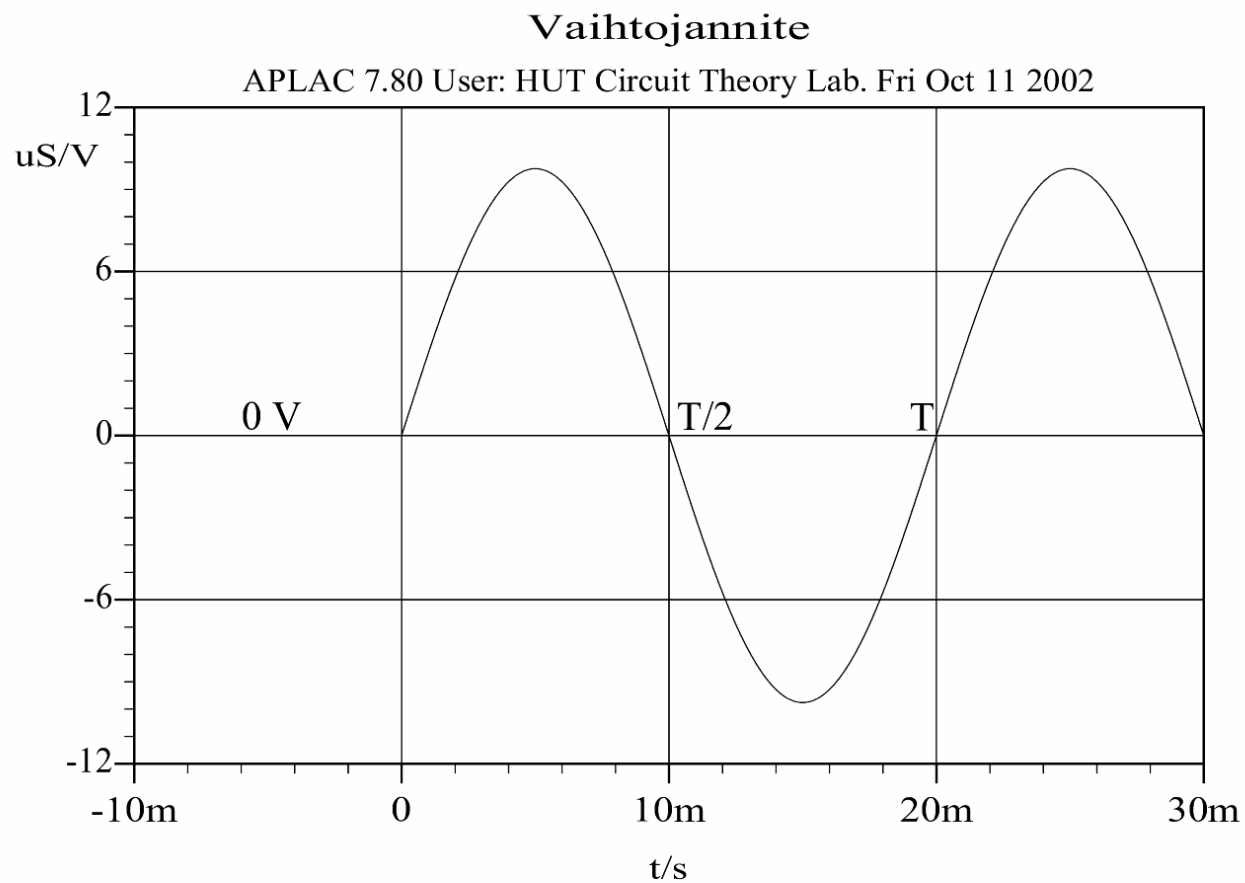
## Kuva 4.39. Siltakytkentä: negatiivinen puolijakso



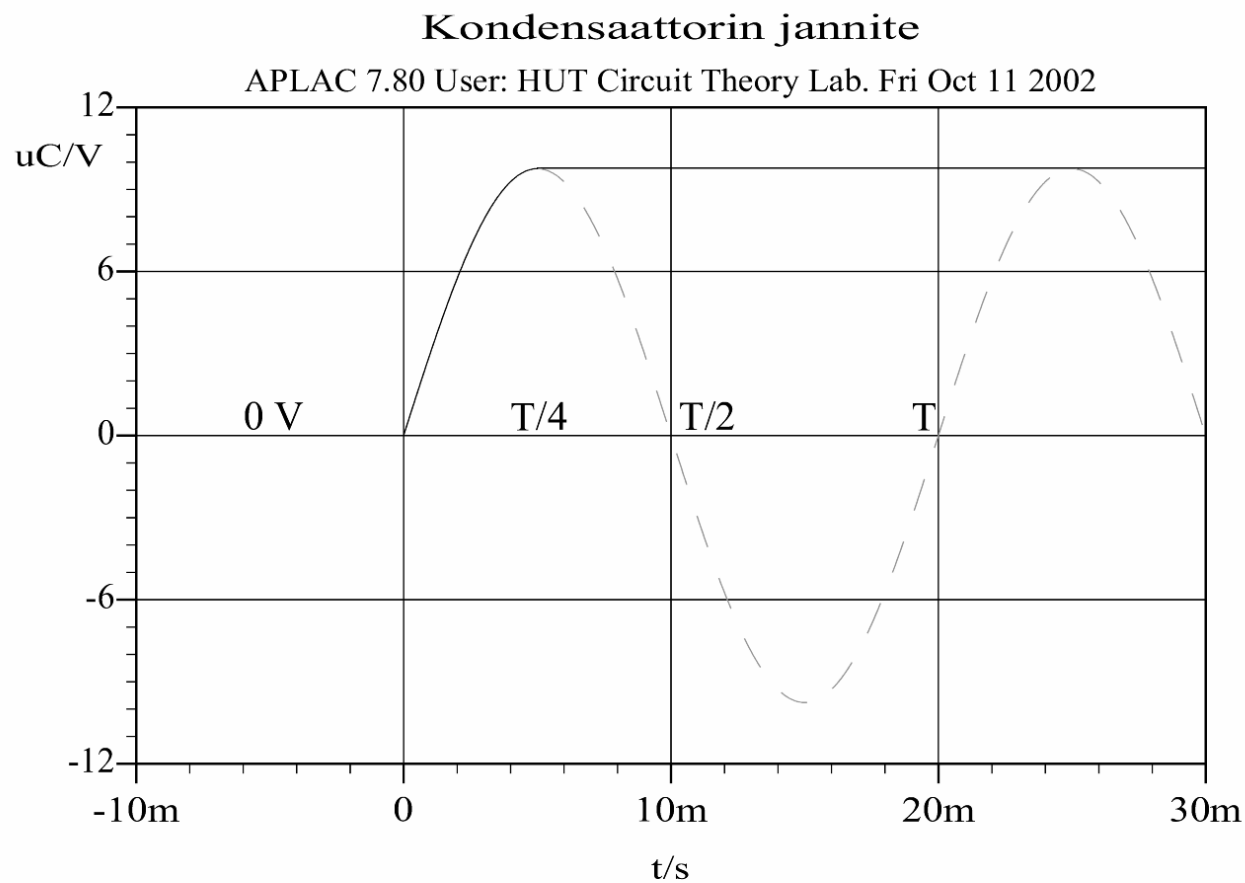
## Kuva 4.40. Huipputasasuuntaaja



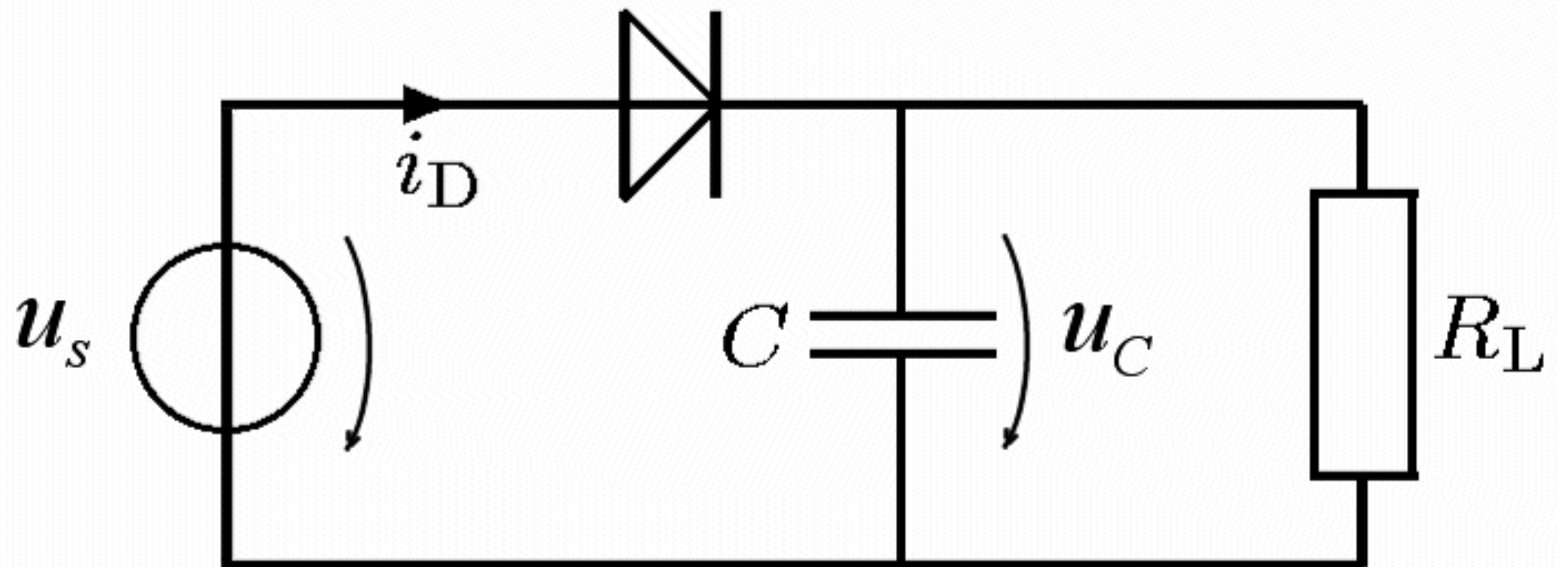
## Kuva 4.41a. Amplitudiltaan 10 V:n jännite $u$ on kytketty hetkellä $t = 0$



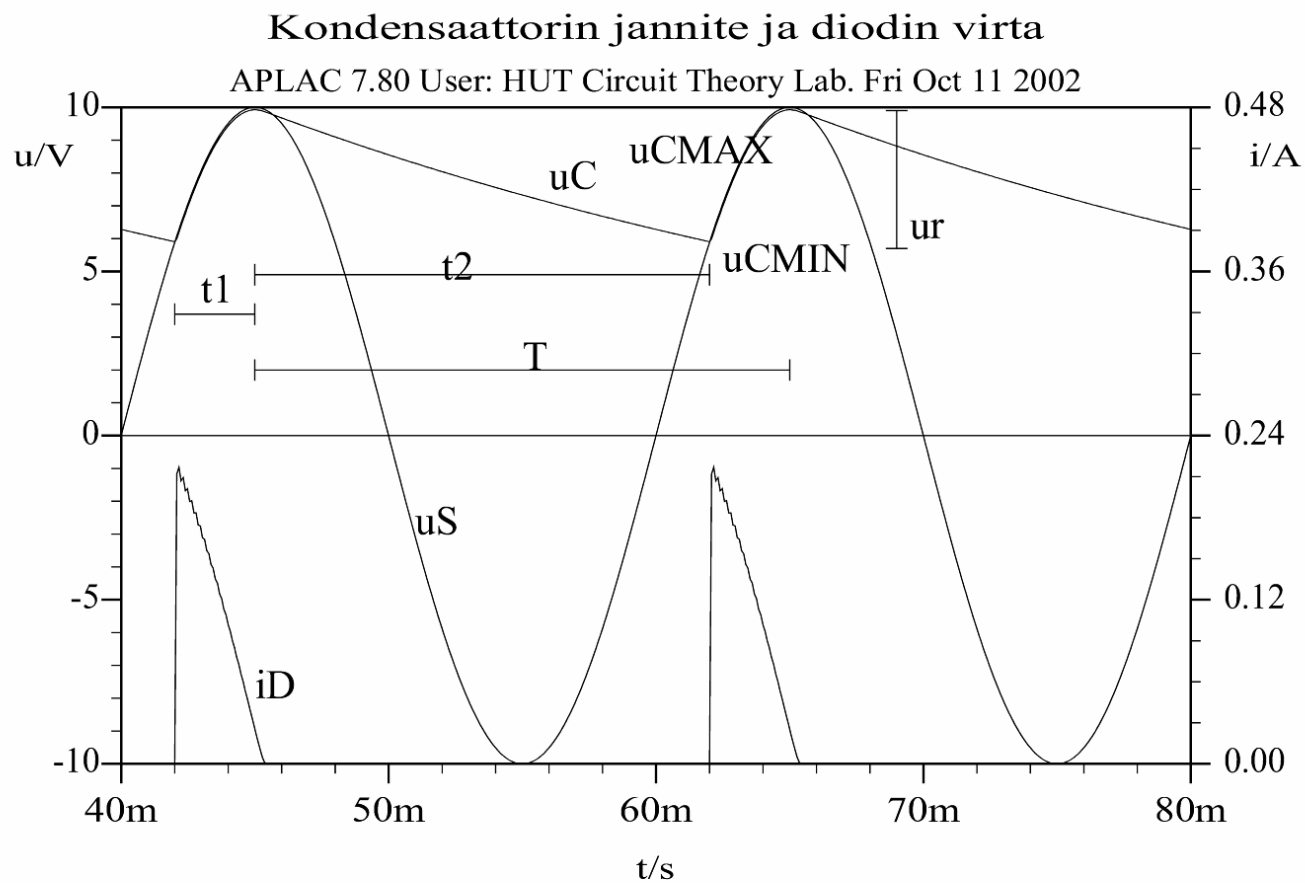
## Kuva 4.41b. Kondensaattorin jännite $u_c$ on 10 V hetken $t = T/4$ jälkeen



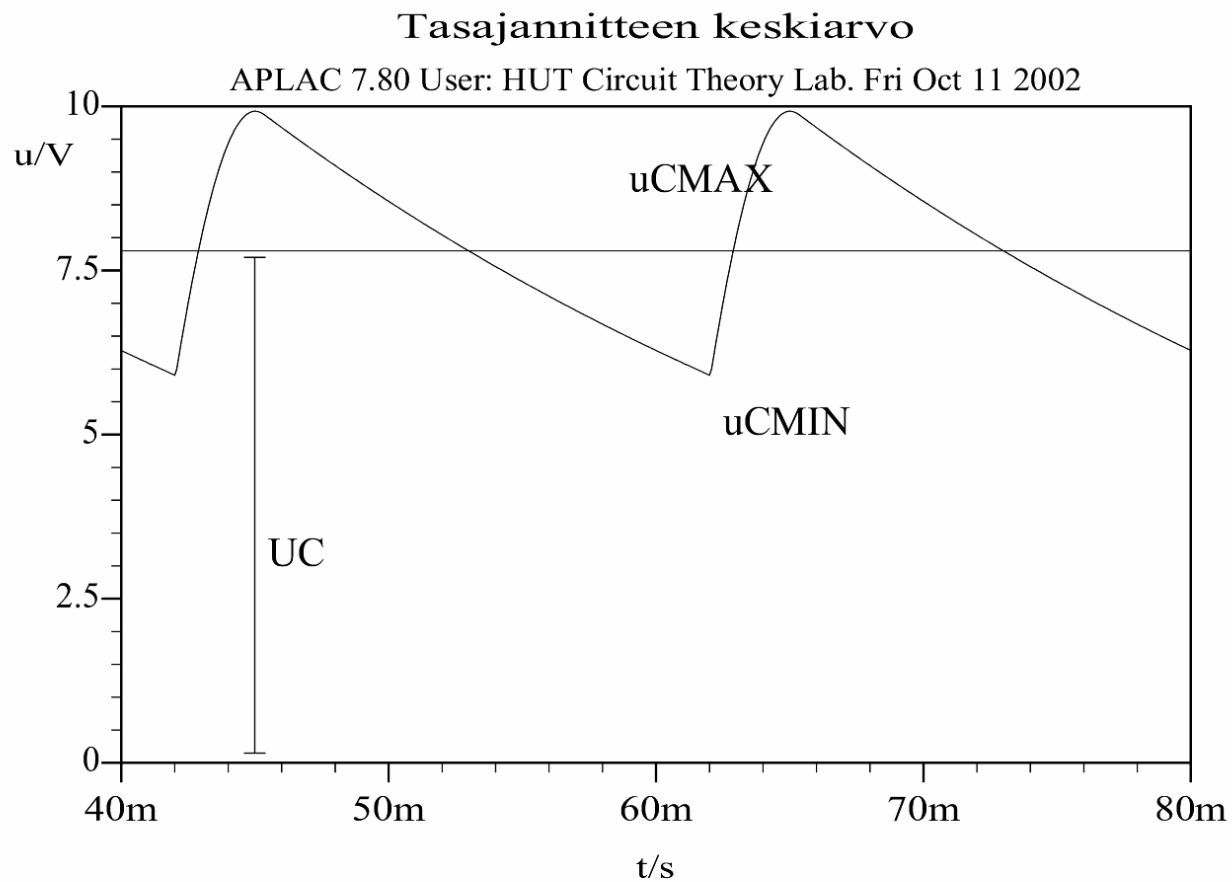
**Kuva 4.42.** Kuormitettu huipputasasuuntaaja



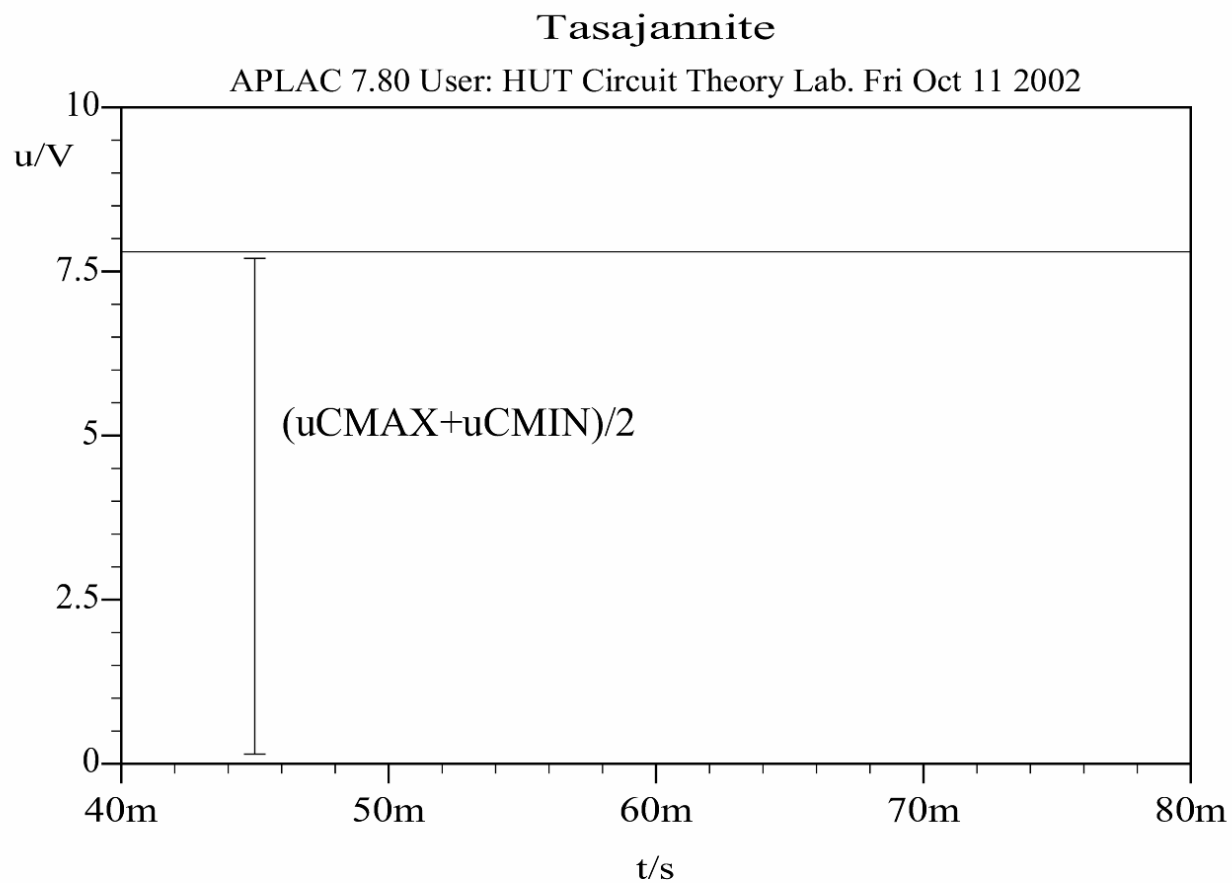
## Kuva 4.43a vas. Kondensaattorin jännite ja diodin virta



## Kuva 4.43a oik. Tasajännitteen keskiarvo

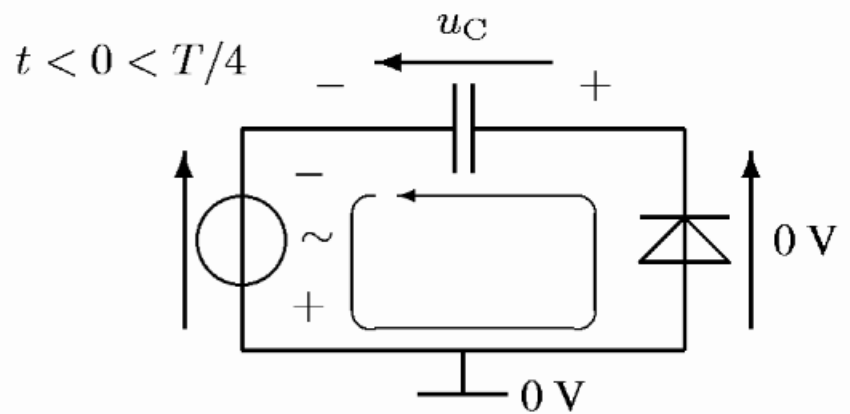
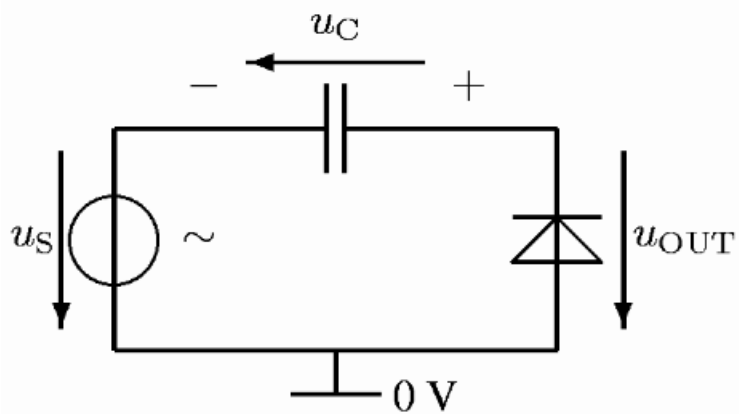


## Kuva 4.43b vas. Tasajännite

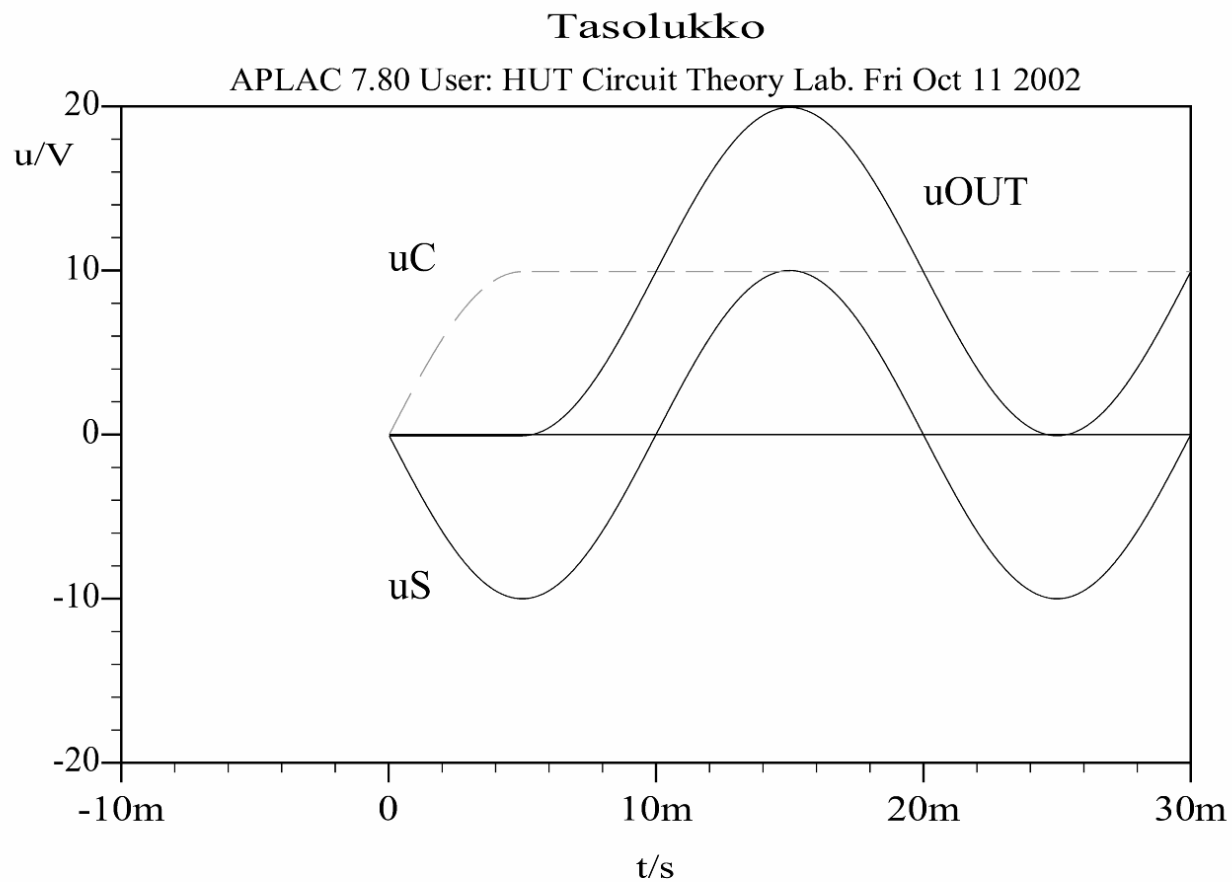




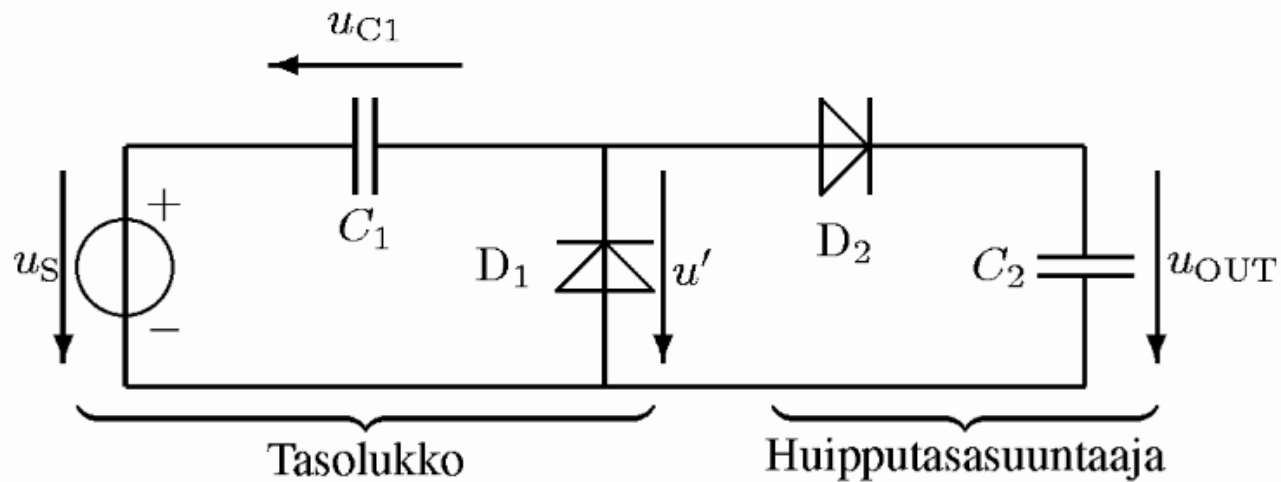
## Kuva 4.44. Tasolukko



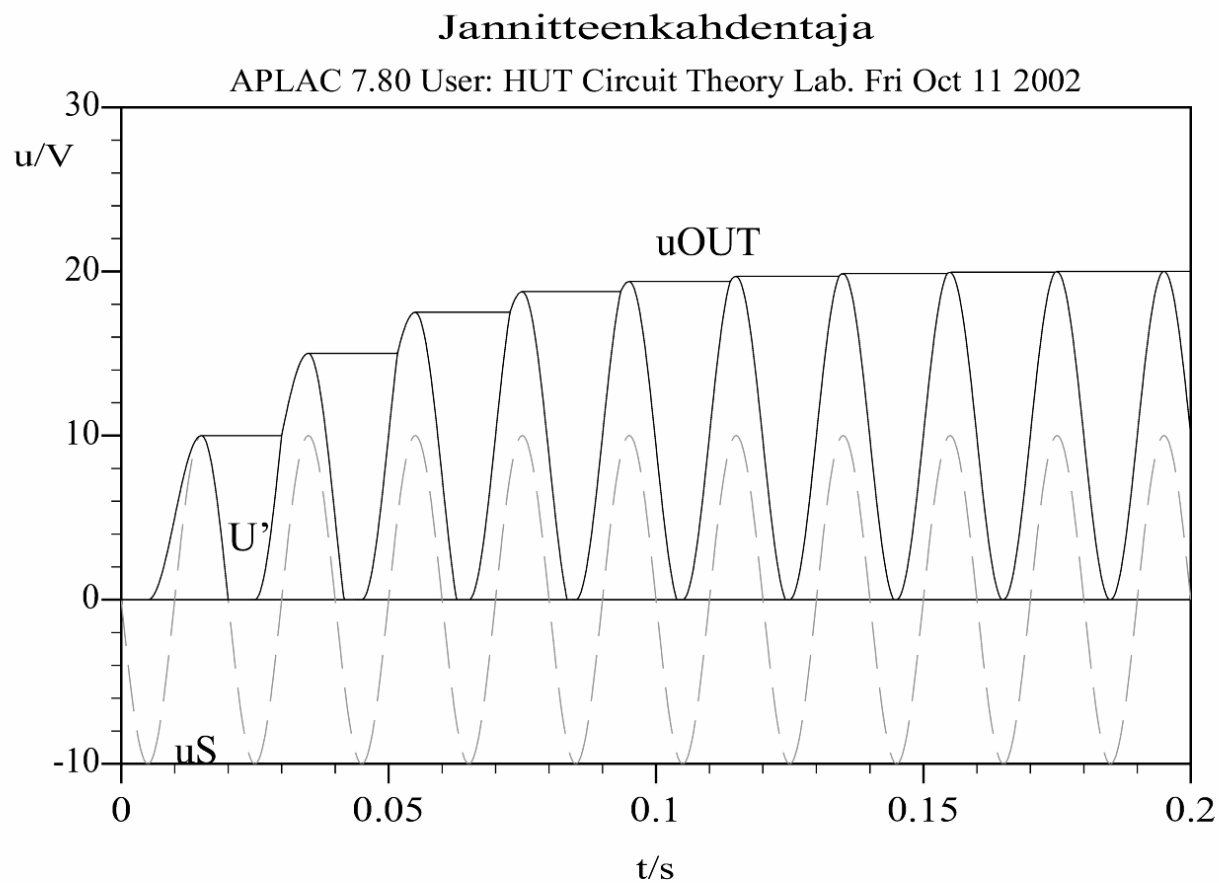
## Kuva 4.45. Diodin jännite tasolukossa



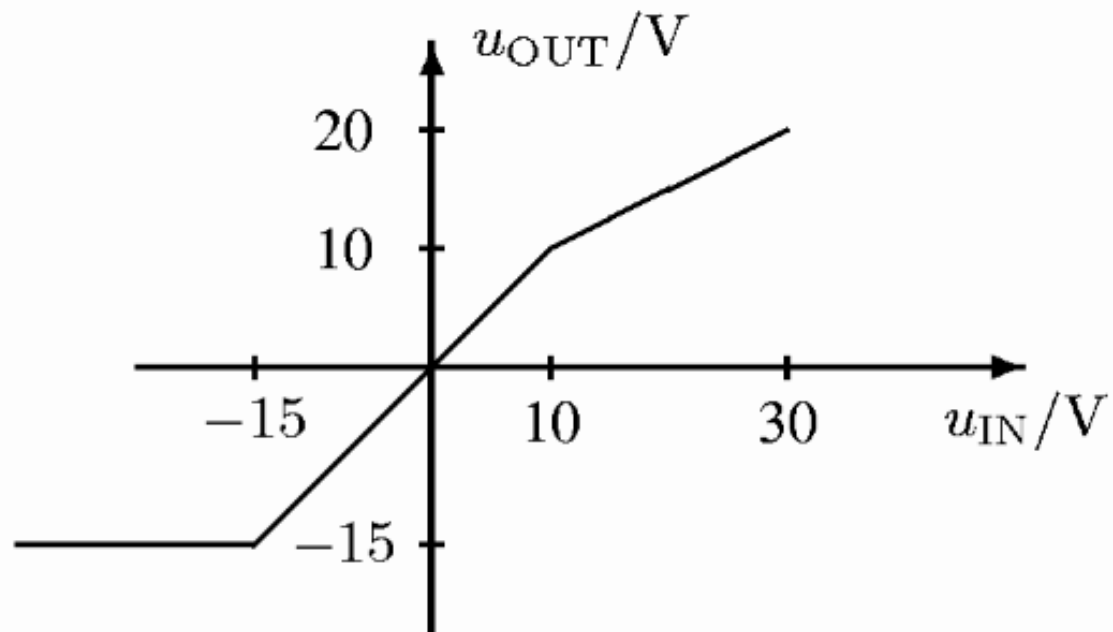
## Kuva 4.46. Jännitteenkahdentaja



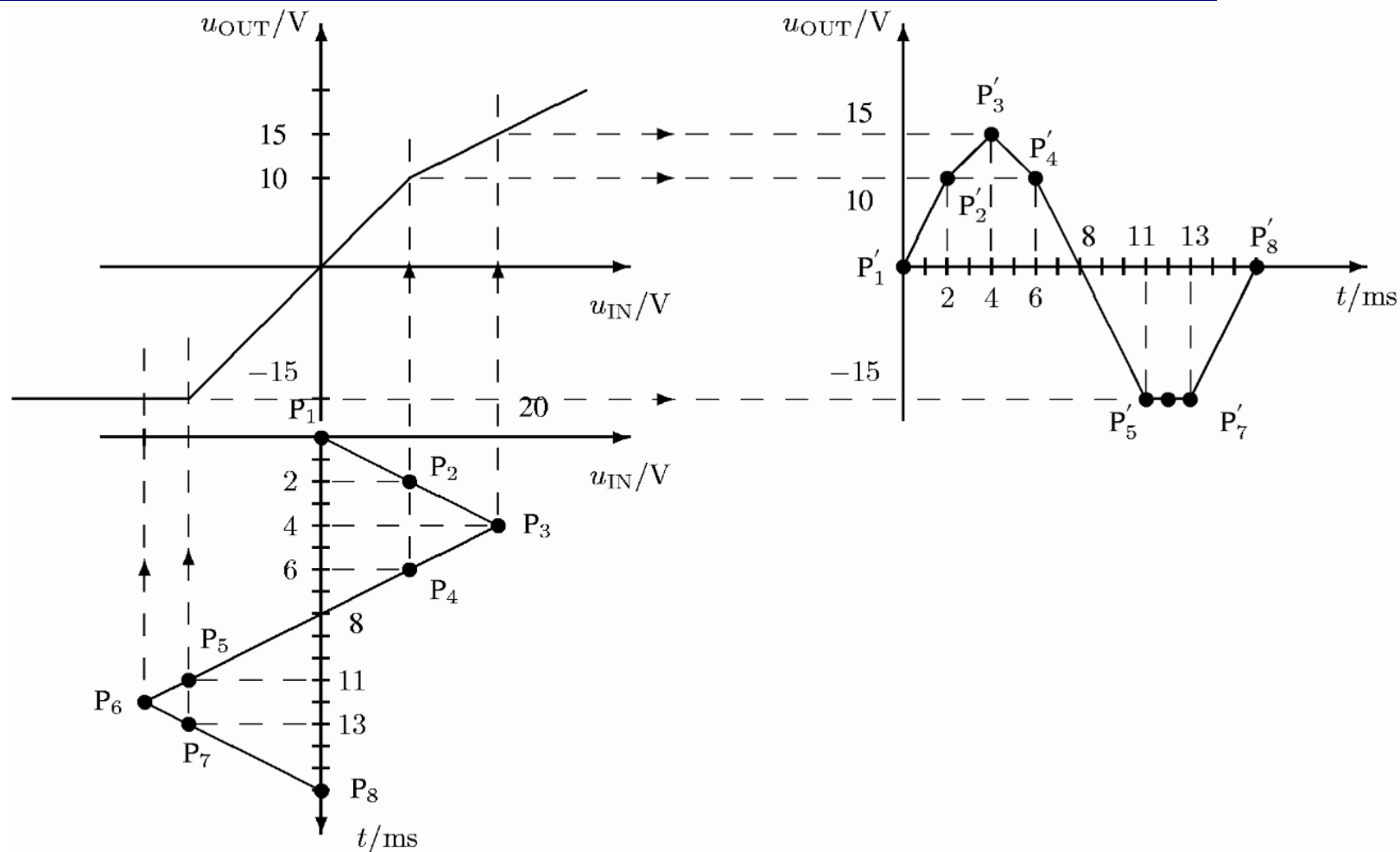
## Kuva 4.46b. Jännitteenkahdentajan toiminta



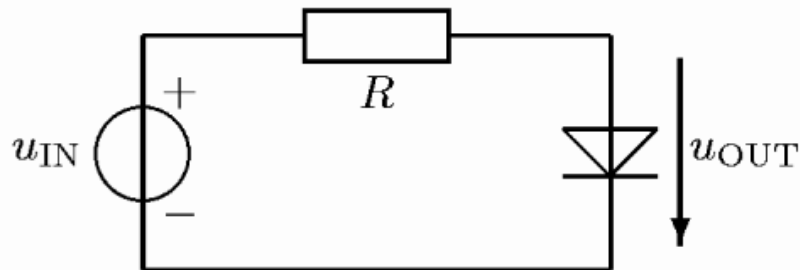
## Kuva 4.47. Leikkainpiirin ominaiskäyrä



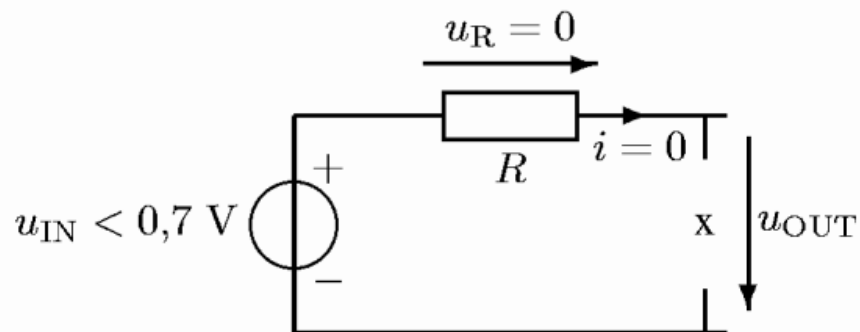
## Kuva 4.48. Kolmioaallon muuttuminen leikkainpiirissä



## Kuva 4.49. Diodipiiri, jossa jännite $u_{IN}$ saa erilaisia arvoja



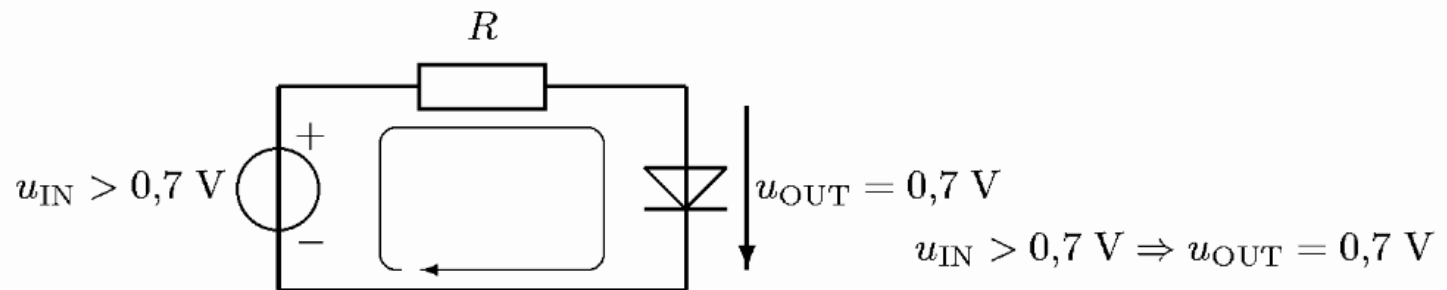
## Kuva 4.50. Diodi estosuunnassa



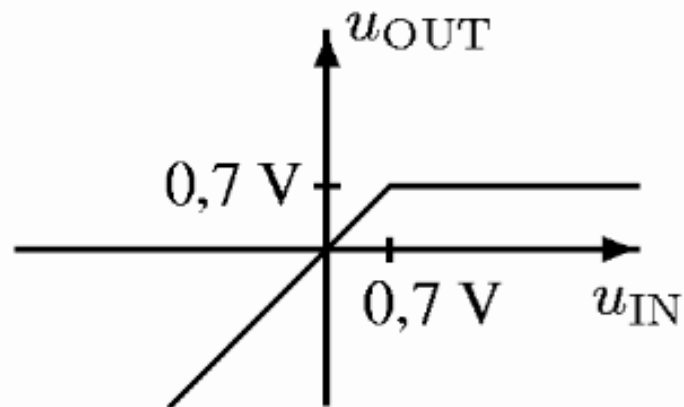
$$u_{IN} < 0,7 \text{ V} \Rightarrow u_{OUT} = u_{IN}$$



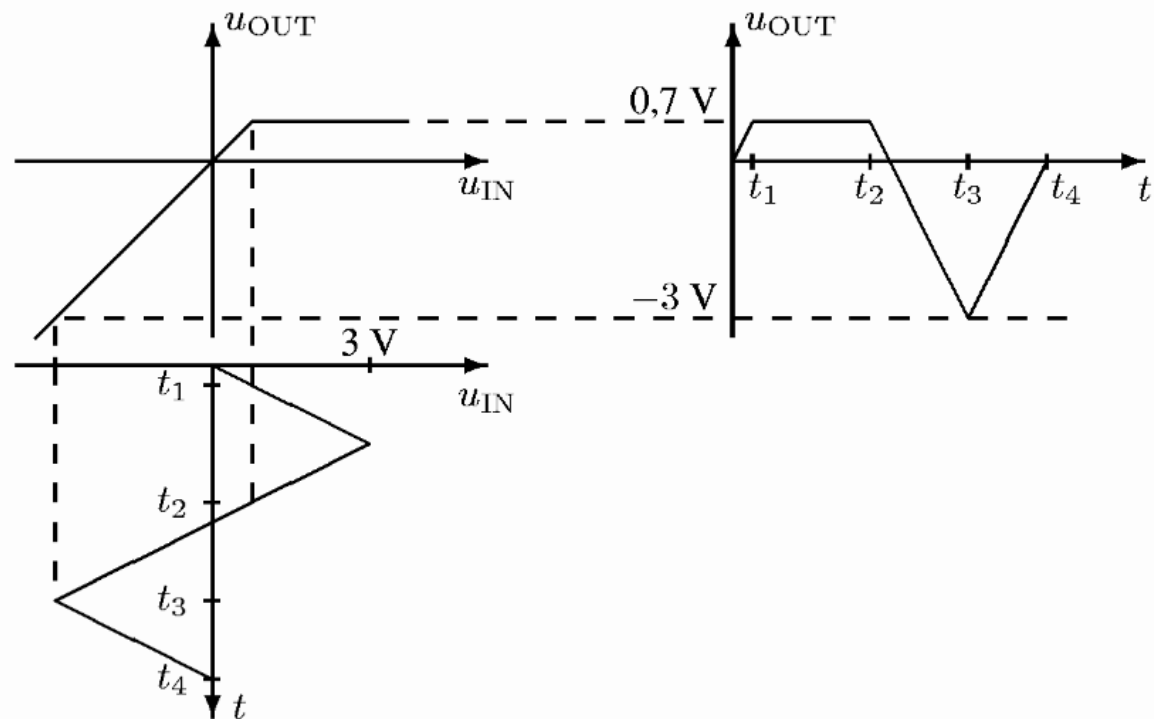
## Kuva 4.51. Diodi päästösuunnassa



## Kuva 4.52. Diodipiirin ominaiskäyrä



## Kuva 4.53. Piiriin syötetty kolmiojännite

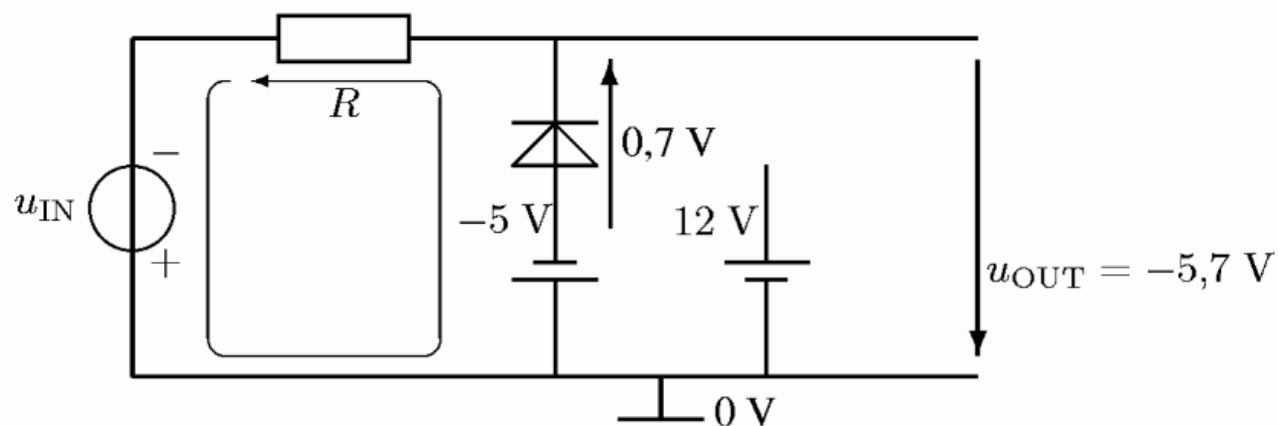


## Kuva 4.54. Diodileikkain

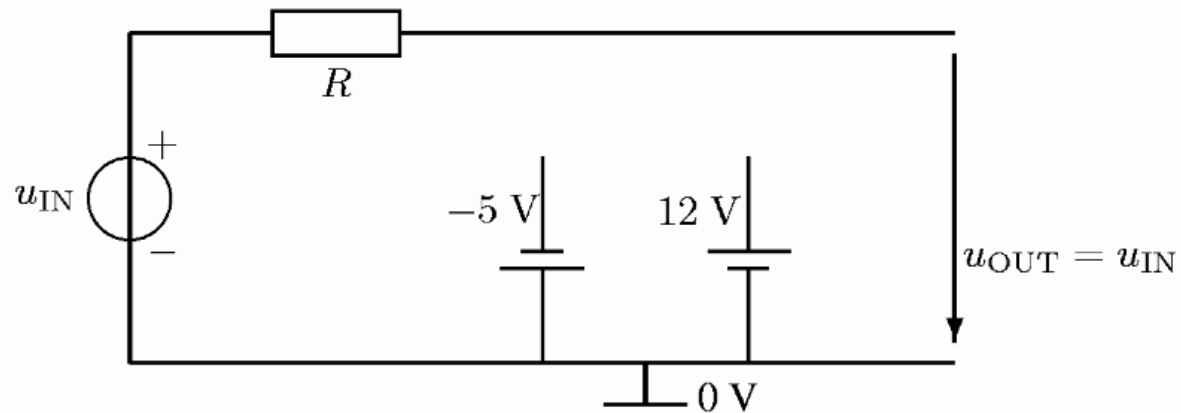
---



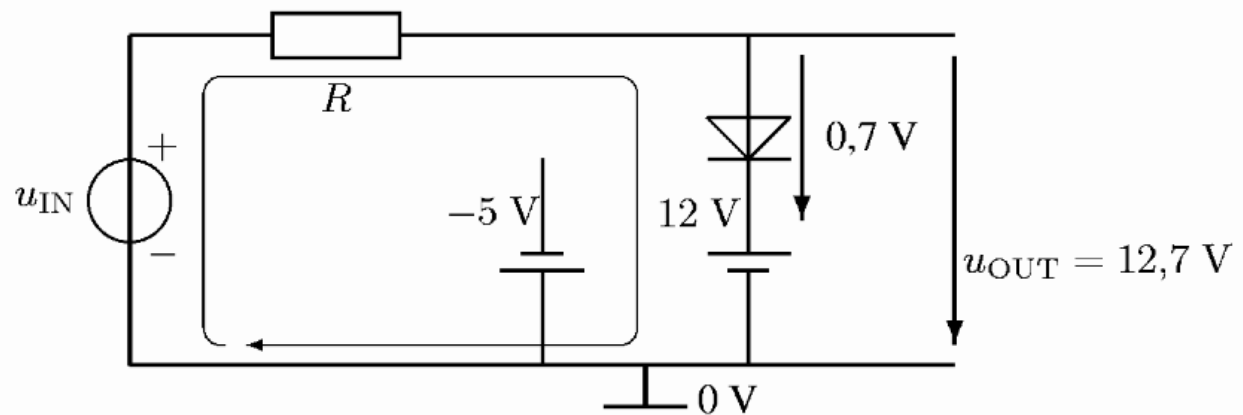
**Kuva 4.55.**  $u_{IN}$  on hyvin negatiivinen:  $D_1$  johtaa,  $D_2$  on estosuuntainen



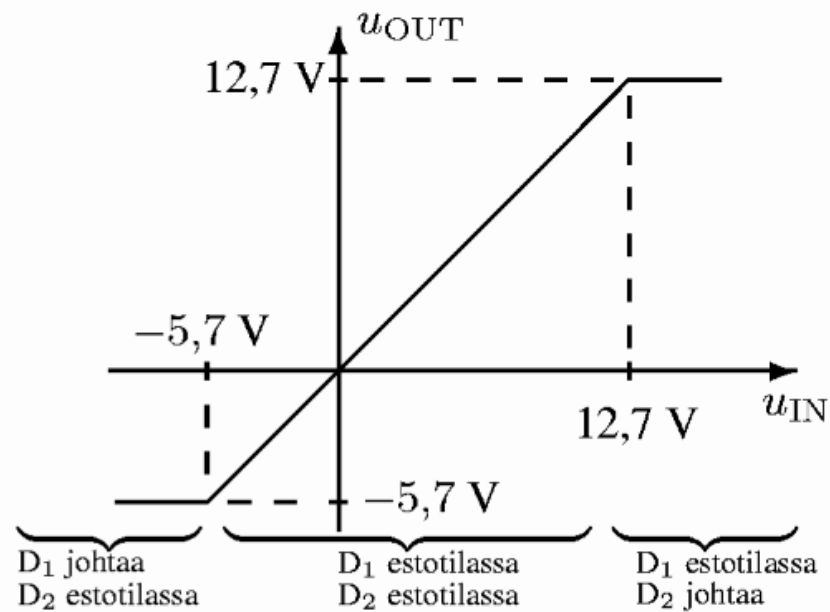
**Kuva 4.56.**  $-5,7 \text{ V} < u_{\text{IN}} < 12,7 \text{ V}$ :  $D_1$  ja  $D_2$  ovat estosuuntaisia



**Kuva 4.57.**  $u_{IN} > 12,7 \text{ V}$ :  $D_1$  on estosuuntainen,  $D_2$  johtaa

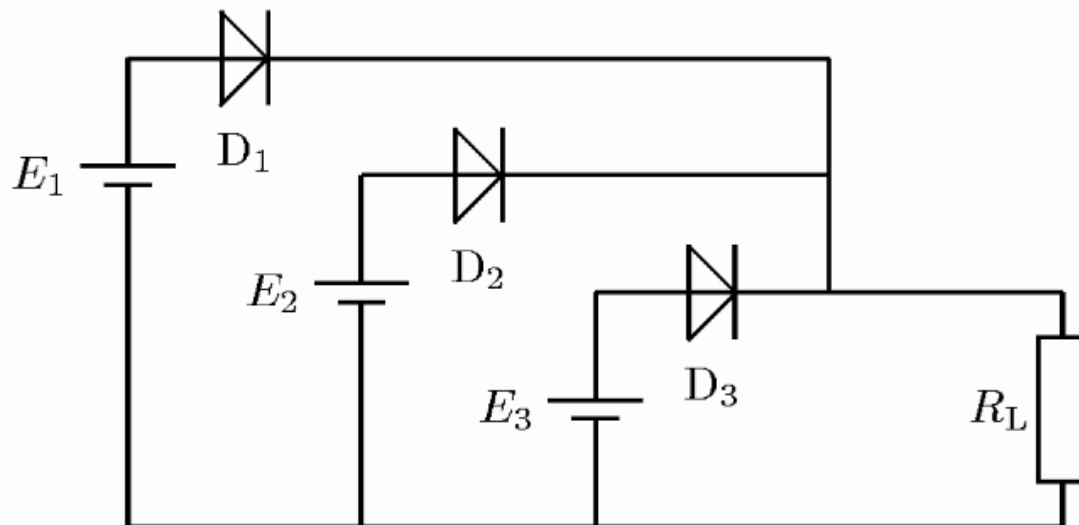


## Kuva 4.58. Diodileikkaimen ominaiskäyrä

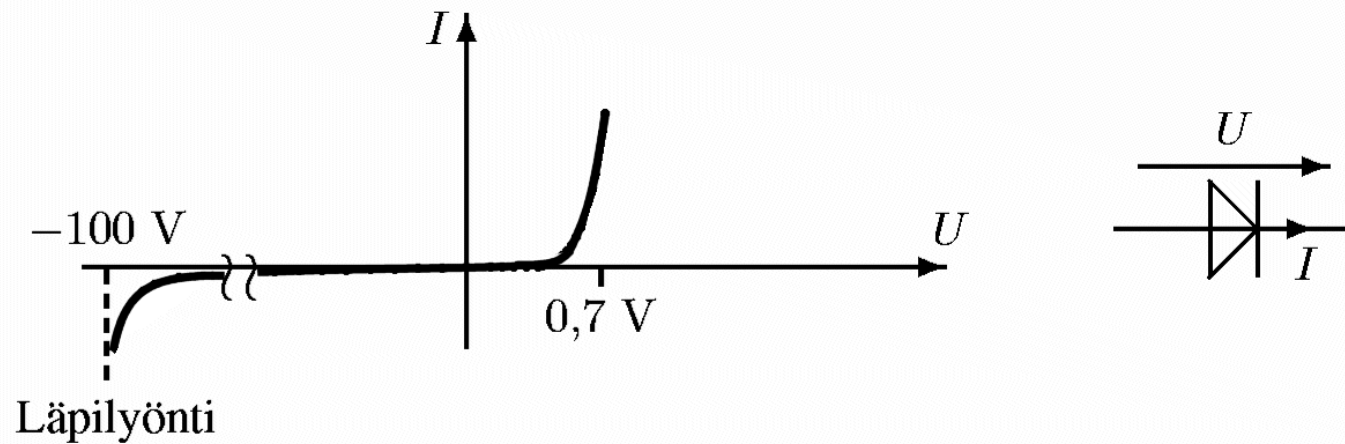




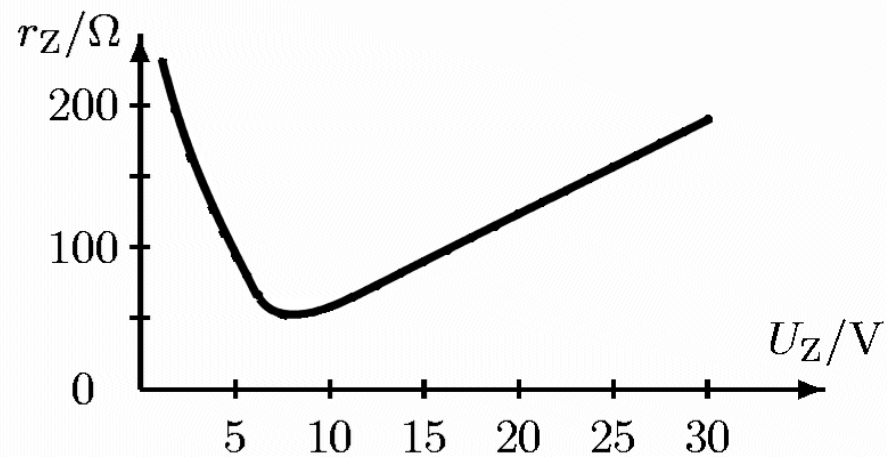
## Kuva 4.59. Jännitelähteiden kytkentä yhteiseen kuormaan



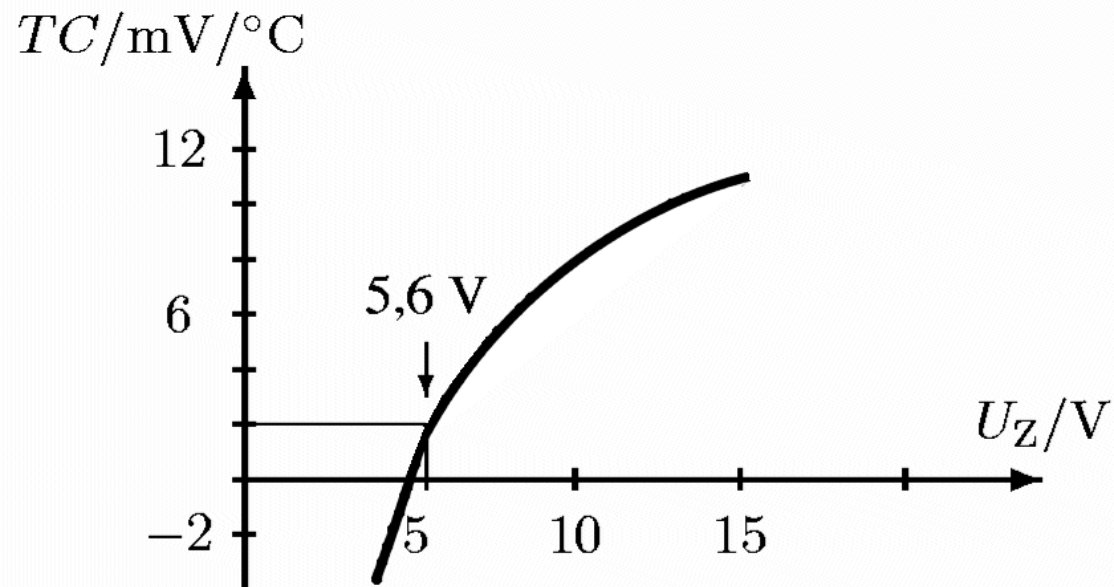
## Kuva 4.60. Diodin läpilyönti



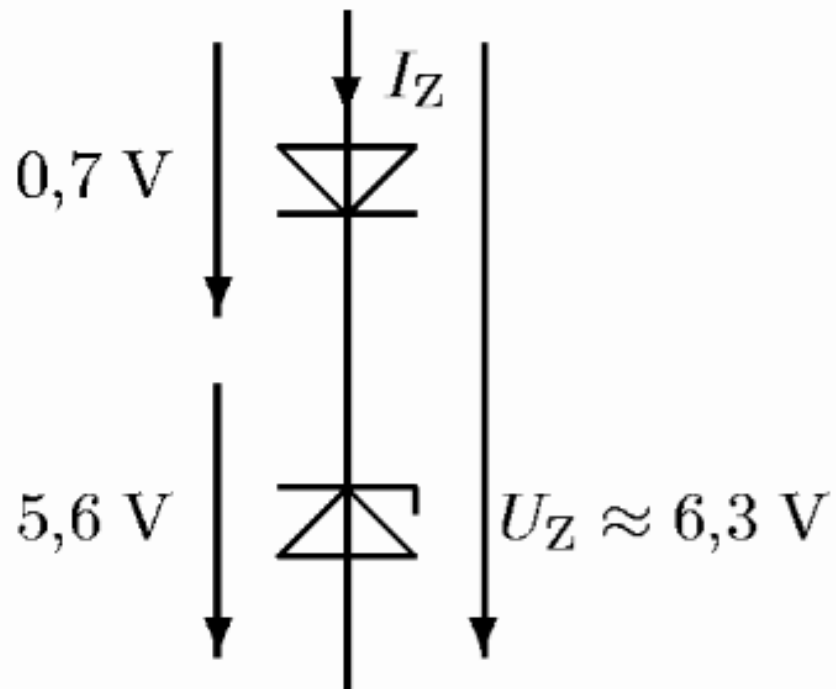
## Kuva 4.61. Zenerdiodin dynaaminen resistanssi



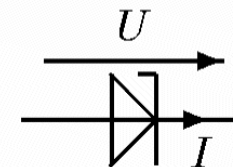
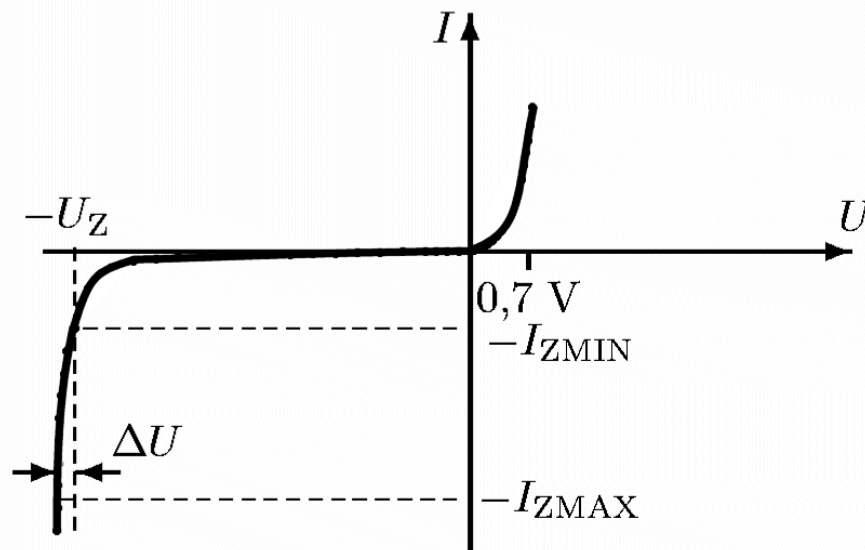
## Kuva 4.62. Lämpötilakerroin zenerjännitteen funktiona



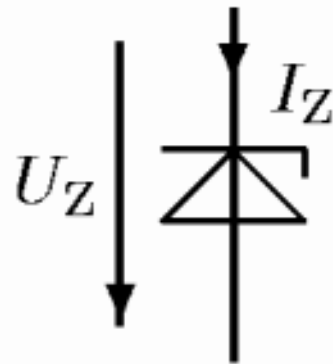
### Kuva 4.63. Lämpötilakompensoitu zenerdiodi



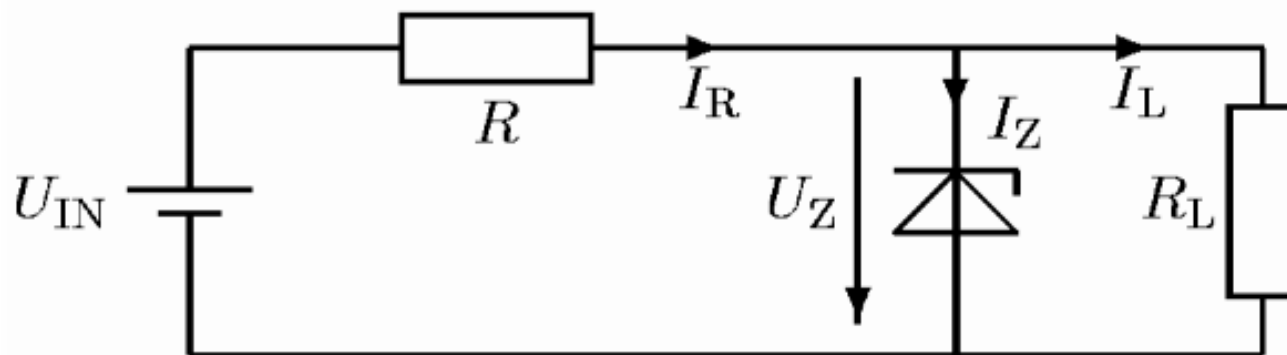
## Kuva 4.64. Zenerdiodin ominaiskäyrä



**Kuva 4.65.** Virran  $I_Z$  ja jännitteen  $U_Z$  positiiviset suunnat, kun zener on läpilyöntitilassa

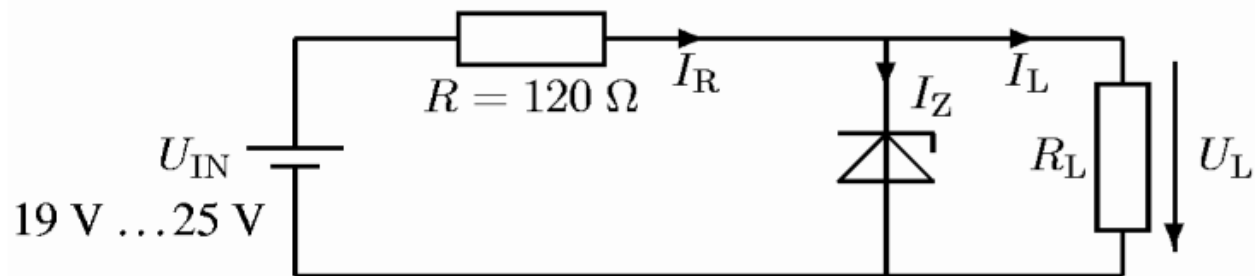


# Kuva 4.66. Zenerdiodin avulla toteutettu jännitteenvakavointipiiri





## Esimerkki 4.7.



$$U_{IN\min} = 18\text{ V}$$

$$U_{IN\max} = 22\text{ V}$$

$$P_{Z\max} = 1\text{ W}$$