

A?

Aalto-yliopisto
Sähkötekniikan
korkeakoulu

Elektroniikan perusteet

ELEC-D0301 Protopaja
Juha Biström

Jännite

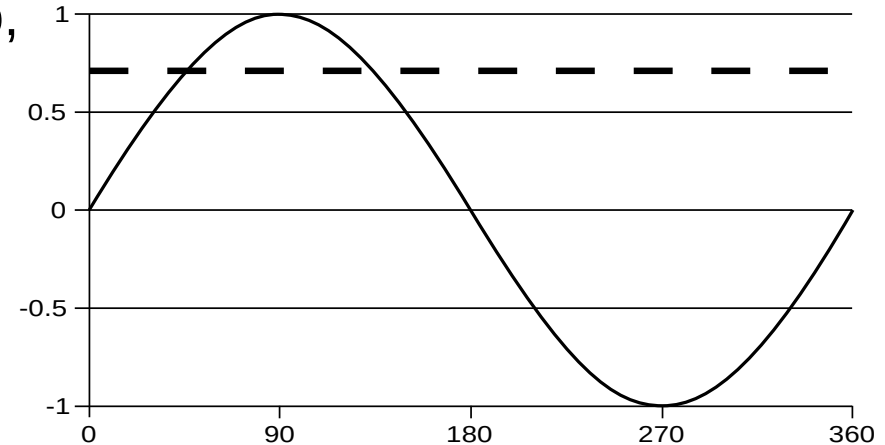
- Sähköinen potentiaaliero kahden pisteen välillä
 - Vrt. potentiaalienergia
- Yksikkö Voltti, V

Virta

- Sähköisesti varautuneiden hiukkasten liikettä
 - Kuvaa kulkevan virran, eli elektronien, määrää
- Yksikkö Ampeeri, A

Tasasähkö (DC), Vaihtosähkö (AC)

- Tasasähkössä virran suunta pysyy vakiona
 - Myös jännitteen suunta vakio
- Vaihtosähkössä virran suunta vaihtelee ajan funktiona
- Aaltomuoto yleensä ns. Siniaalto, mutta myös muita esiintyy
- Siniaallolla tehollisarvo (RMS) = huippuarvo / $\sqrt{2}$



Teho

- Energia per aikayksikkö ($W = J \cdot s$)
- Yksikkö Watti, W
- $P = U \cdot I$, ...
 - Tasavirralla, vaihtovirralla hieman mutkikkaampaa

Näennäisteho

- Vaihtovirralla, tehollisjännitteen ja -virran tulo
- Yksikkö Volttiampeeri, VA
- $S = U \cdot I$
- Jos jännite ja virta samassa vaiheessa:
näennäisteho $S =$ pätöteho P , muuten $S > P$
- Sinimuotoisilla jännitteillä ja virroilla
 $S^2 = P^2 + Q^2$

Pätöteho

- Todellisuudessa kulutettu teho, vrt. DC-teho
- Yksikkö Watti, W
- Se teho, joka lämmittää vastusta
- Tehokerroin $\cos \varphi$ pätötehon suhde näennäistehoon
 $\cos \varphi = P / S$

Loisteho

- Loistehoa esiintyy jos jännite ja virta eivät ole samassa vaiheessa
 - Kapasitanssien ja induktanssien aiheuttamaa edestakaisin värähtelevää tehoa
 - Ei tee työtä, mutta rasittaa sähköverkkoa
- Yksikkö Vari, VAr (Volttiampeeri reaktiivinen)
- $Q = U * I * \sin \varphi$

Desibeli, dB

- Suhdeluku $X = 10 \log_{10} (A / B)$
 - Voidaan referoida tiettyyn lukuun, esim. Tehotasoon
 - Radiotekniikassa yleisesti verrataan 1mW:iin $\rightarrow 0$ dBm
- Muuttaa kertolaskut yhteenlaskuiksi
- Logaritminen:
 - +3dB \rightarrow tupla, -3dB \rightarrow puolikas,
 - +10dB \rightarrow kymmenkertainen, -10dB \rightarrow kymmenesosa
 - Esim: +23dB \rightarrow 200, -13dB \rightarrow 0,05 (1/20), +46dB \rightarrow 40 000
- Jännitteille $X = 20 \log_{10} (A / B) \rightarrow$ desibelimäärät tuplana (± 6 dB, ± 20 dB)

Resistanssi

- Komponentin, johtimen tai piirin osan kyky vastustaa sähkövirtaa
- Jännitteen ja virran suhde $R = U / I$
- Yksikkö Ohmi, Ω

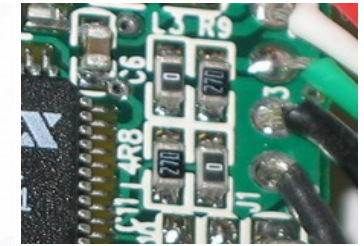
Impedanssi

- “Vaihtovirtaresistanssi”
- Yksikkö Ohmi, Ω
- Induktanssi ja kapasitanssi aiheuttavat reaktanssia, joka riippuu taajuudesta
 - $Z = R + X_L + X_C = R + \omega L + 1 / \omega C$
 - $\omega = 2 * \pi * f$

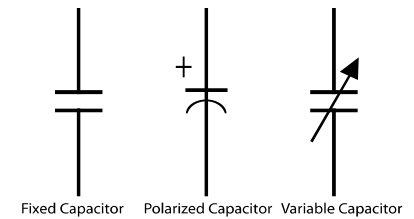
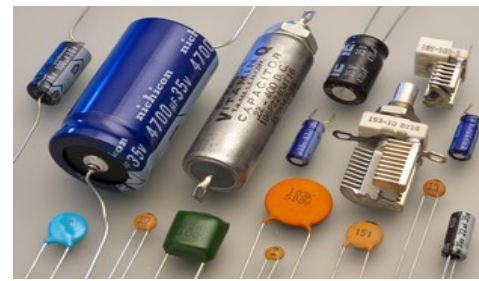
Vastus



- Vastustaa virran kulkua
- Ominaisuuksia:
 - Resistanssi ($R = U \cdot I$), toleranssi %, tehonkesto W, lämpötilariippuvuus ppm/K, (fyysinen) koko
- Käyttötarkoituksia
 - Rajoittaa virran kulkua, muodostaa jännitteenjakoja, esijännittää (biasoida) aktiivikomponentteja, sovittaa/terminoida siirtojohtoja, lämmittää, kuluttaa hukkatehoa, ylös veto-/alasetovastuksena jne...
- Säädettävät vastukset:
 - Trimmerit, potentiometrit, rheostaatit
- Säätävät vastukset:
 - LDR – valo, NTC & PTC – lämpö, VDR – jännite

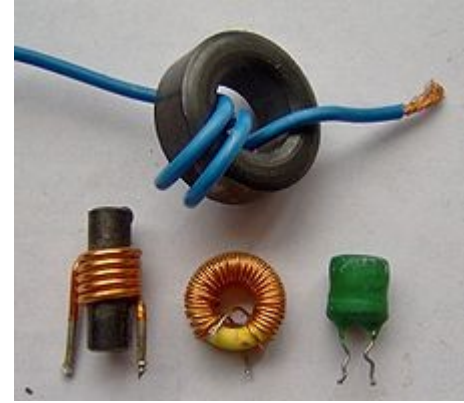


Kondensaattori



- Varastoi energiaa sähkökenttään
- Ominaisuuksia:
 - Kapasitanssi $C = Q / U$, $C = \epsilon * A / d$, yksikkö Faradi, F
 - Impedanssi $Z = 1 / (\omega C) = 1 / (2 * \pi * f * C)$, yksikkö Ohmi, Ω
 - Jännitteenkesto V, toleranssi %, käyttölämpötila-alue $^{\circ}\text{C}$, ESR Ω , maksimi rippelivirta A, itseisresonanssitaajuus Hz
- Käyttötarkoituksia
 - Jännitteen tasaaminen, suodattimet, resonanssipiirit, tasavirran pysäyttäminen, muistin varmentamiseen, läpivientikondensaattorina

Kela

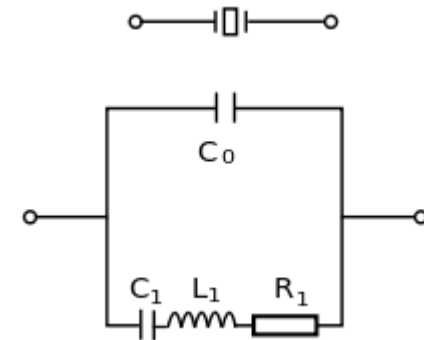


- Varastoi energiaa magneettikenttään
- Ominaisuuksia
 - Induktanssi L riippuu rakenteesta, yksikkö Henry, H
 - Impedanssi $Z = \omega L = 2 * \pi * f * L$
 - Maksimivirta A, sydänmateriaali, toleranssi %, käyttölämpötila-alue °C, DC-resistanssi Ω , itseisresonanssitaajuus Hz
- Käyttötarkoituksia
 - Virran tasaaminen, suodattimet, resonanssipiirit, vaihtovirran pysäyttäminen

Kide



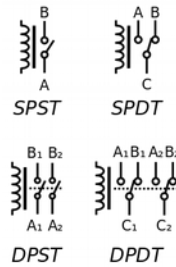
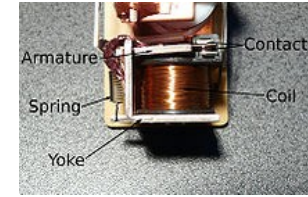
- Värähtelevän kvartsikiteen muodostama resonanssipiiri
- Käyttäytyy RLC-piirin kaltaisesti
- Ominaisuuksia:
 - Taajuus Hz, vakaus ppm, kuormakapasitanssi pF, värähtelytapa/leikkaus
- Käyttötarkoituksia
 - Värähtelijä oskillaattoreissa, suodattimet



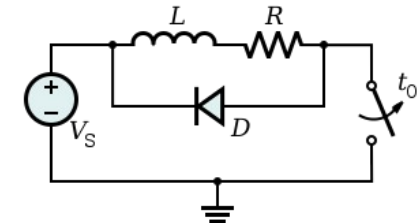
LDR, NTC, PTC

- LDR: valovastus
 - Resistanssi pienenee valoisuuden lisääntyessä
- NTC: lämpövastus
 - Resistanssi pienenee lämpötilan kasvaessa
- PTC: lämpövastus
 - Resistanssi kasvaa lämpötilan kasvaessa
- Käytetään yleensä jännitteenjakajassa
 - Suureesta riippuva jännite

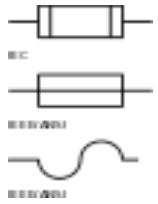
Rele



- Sähköisesti ohjattava kytkin
- Perinteisesti mekaanisella kytkimellä, mutta nykyään myös puolijohdekytkimellä
 - Ohjauksen back-EMF rikkoo helposti ohjaavan kytkennän, jos kytkimen yli ei ole diodia!
- Ominaisuuksia:
 - Kytkevä maksimijännite V ja -virta A , kytkentänopeus ms , kytkentäkertojen määrä, ohjaujännite V ja -virta A
- Käyttötarkoituksia:
 - Suuren virran kytkeminen pienellä virralla, galvaaninen erotus



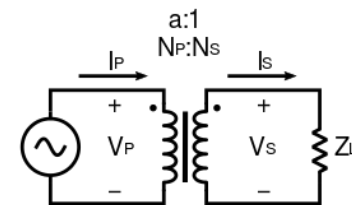
Sulake



- Suojaa johdinta ja laitetta ylivirralta ja ylikuumenemiselta
 - Katkaisee virtapiirin ylivirta- ja oikosulkutilanteissa
 - Pienentää tulipalon riskiä merkittävästi
- Erityisen tärkeä käytettäessä suureen antovirtaan kykenevää teholähdettä
 - Esim. Litium- ja lyijyakut, verkkosähkö



Muuntajat

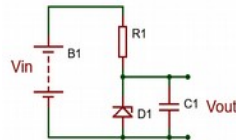
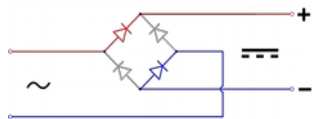
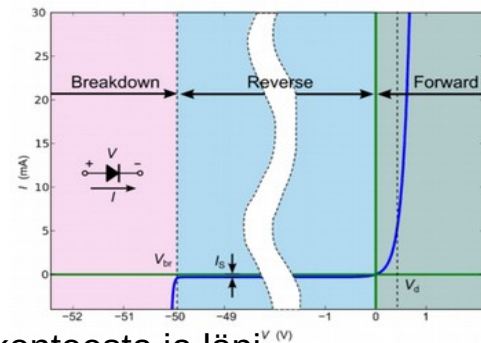


- Vaihtosähkön jännitteen muuttamiseen tai galvaaniseen erottamiseen, impedanssitasojen sovittamiseen
 - Vaatii vaihtosähköä toimiakseen
- Ominaisuuksia:
 - Muuntosuhde $N_1/N_2 = U_1/U_2 \approx I_2/I_1$
 - Nimellis- ja maksimijännite V sekä -virta A , muuntosuhde, käämien lukumäärä ja konfiguraatio, eristysluokka

Diodi



- Johtaa virtaa vain toiseen suuntaan
 - Toiseen suuntaan eriste, toiseen suuntaan "johde"
 - Päästösuuntaan nk. Kynnysjännite, riippuu puolijohteen materiaalista, rakenteesta ja läpi kulkevasta virrasta, piidiodeilla noin 0,6V
 - Päästösuuntaan jännite putoaa kynnysjännitteen verran, aiheuttaa myös lämpenemistä
- Ominaisuuksia
 - Maksimivirta päästösuuntaan A, maksimijännite estosuuntaan V, kynnysjännite V (I-V-käyrä), vuotovirta estosuuntaan A, nopeus, lämpötilariippuvuus
- Käyttötarkoituksia:
 - Tasasuuntaus, vastajännitesuojaus, diodilogiikka, esijännitys, lämpötilakompensointi, ilmaisu, kytkimenä, virityspiirin säätimenä, jännitteen rajoittaminen, jännitteen vakavointi, ...
- LED, fotodiodi, optoerotin, Schottky-diodi, Zener-diodi, PIN-diodi, varaktori/kapasitanssidiodi, TVS, jne...



Tasasuuntaaja

- Vaihtosähkön muuttamiseen tasasähköksi
- Puoli- ja kokoaaltotasasuuntaajat diodeilla, aktiivitasasuuntaajat (Tyristorit, FETit, ...)
- Myös valmiita tasasuuntaussiltoja
- Ominaisuuksia:
 - Maksimijännite V ja -virta A , jäähdytyksen tarve

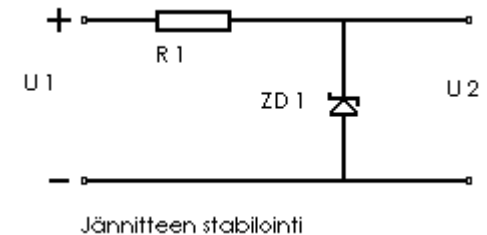
LED

- Erikoismateriaalinen diodi (esim. GaAs, GaInP), jonka puolijohdeliitos emittoi valoa, kun sen läpi kulkee virtaa
- Emitteridun valon aallonpituus riippuu mm. puolijohdeliitoksen materiaaleista
 - Nykyään myös melko paljon sinisiä ledejä muunvärisellä fosforipinnoitteella (esim. kaikki valkoiset ledit)
- Puolijohdemateriaalit/ledin väri vaikuttavat kynnysjännitteeseen, esim. Punainen $\rightarrow \sim 1,6V$, sininen $\rightarrow \sim 3,4-3,6V$
- Ominaisuuksia (normaalien diodien lisäksi):
 - Aallonpituus/väri nm, valovirta/kirkkaus cd, kynnysjännite V, maksimivirta mA, maksimi estosuuntainen jännite V, ikääntyminen (“tehon heikkeneminen”), hyötysuhde (virran suhteen), jäähdystistarve

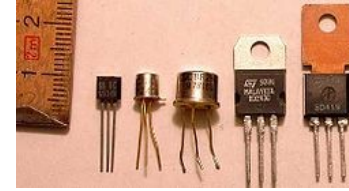
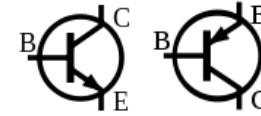
Zener-diodi



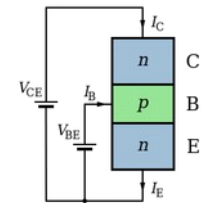
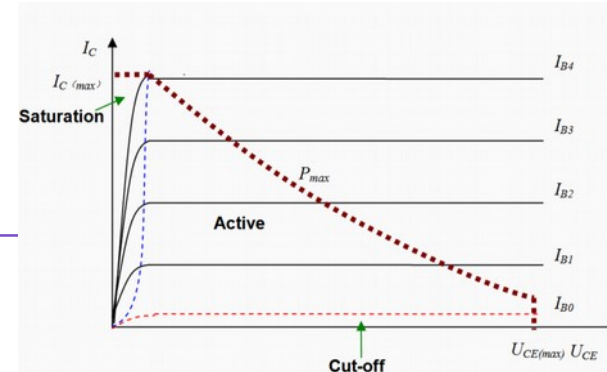
- Päästösuuntaan käyttäytyy tavallisen diodin kaltaisesti
- Estosuuntaan Zener-jännitteellä hallittu (ei-tuhoisa) läpilyönti
- Ominaisuuksia:
 - Zener-jännite V , tehonkesto W , lämpötilakerroin ppm/K
- Käyttökohteita:
 - Jännitteen stabilointi, jännitereferenssi, ...



Bipolaaritransistori, BJT

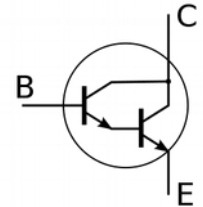


- Virtaohjattu vahvistin/kytkin
- Eri toimintatiloja, toimintapisteitä, NPN- ja PNP-tyypit
- Ominaisuuksia:
 - Kollektorin maksimivirta riippuu kantavirrasta, $I_{Cmax} = I_B * \beta$
 - Maksimi CE- ja BE-jännite V, maksimi C- ja B-virta A, virtavahvistuskerroin β/h_{FE} , tehonkesto W, maksimitaajuus Hz
 - Vaatii kantavastuksen
- Käyttökohteita:
 - Kytkimenä, vahvistimena, invertterinä



BJT-transistorin Darlington-kytkentä

- BJT-transistorilla rajallinen virtavahvistuskerroin
- Suurempien virtojen ohjaamiseen voidaan käyttää nk. Darlington-kytkennällä
 - Transistoreja “ketjutettu” peräkkäin
- Erilliskomponenteista tai valmiina komponenttina
- Yleensä merkittävästi suurempi virtavahvistus (h_{FE}), kuin “normaalilla” transistorilla
- Nykyään on myös hyviä MOSFET-transistoreja



Kanavatransistori, FET, MOSFET

- Jänniteohjattu vahvistin/kytkin

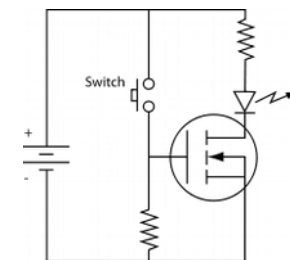
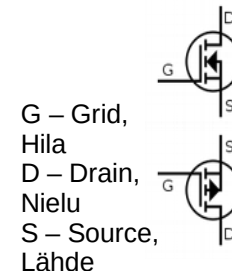
- Lineaaritila, saturaatiotila
- Merkittävästi helppokäyttöisempi kuin bipolaaritransistori
- Lähes aina integroitu diodi, lähes aina johtamaton kanava ilman ohjausta (avaustyyppinen, enhancement mode)

- Ominaisuuksia

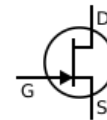
- Maksimi DS- ja GS-jännite V, maksimi nieluvirta (I_{dmax}) A, $GS_{(th)min}$ -kynnysjännite V, tehonkesto W, hilakapasitanssi pF, maksimitaajuus Hz

- Käyttökohteita

- Kytkimenä, vahvistimena, invertterinä, ideaaliodina, ...



Liitoshilatransistori, JFET

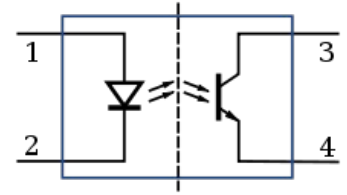


- Jänniteohjattu vastus, jänniteohjattu kytkin
- Kanava kaksisuuntainen, eikä yleensä integroitua diodia, jolloin kytkentäsuunta vaikuttaa lähinnä hilan toimintaan
- Käytetään myös esim. jänniteohjattuna “volumesäätimenä” audiosovelluksissa
- Kanava johtavassa tilassa ilman ohjausta (sulkytyyppinen, depletion mode)

Tyristori

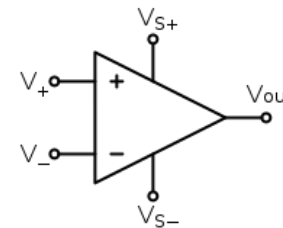
- Liipaistava kytkin, joka johtaa kunnes jännite laskee tarpeeksi
 - Myös Gate turnoff (GTO) -malleja olemassa
- Ei kovin yleinen nykyään
- Ominaisuuksia:
 - Jännitteen-, virran- ja tehonkesto, kytkentänopeus, liipaisujännite ja -virta
- Käyttökohteita
 - Tasa- ja vaihtosuuntaajissa, suojapiireissä

Optoerotin



- Signaalien galvaaniseen erottamiseen
- IR-LED + fotodiodi tai fototransistori
- Ominaisuuksia:
 - Ledin kynnysjännite ja maksimivirta, fotodiodin/-transistorin maksimijännite ja -virta, erotusjännite, nopeus

Operaatiovahvistin



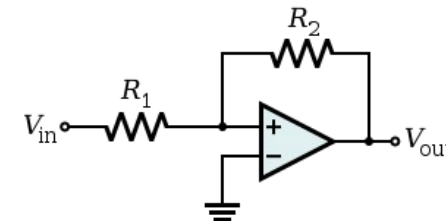
- Kaksituloinen vahvistin, vahvistaa tulojen jännite-eron

- Invertoiva ja ei-invertoiva tulo, $V_{out} = A_{OL} (V_+ - V_-)$

- Takaisinkytketty vahvistin

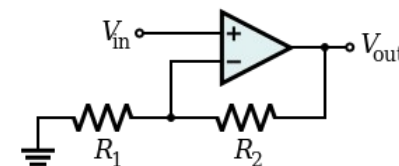
- Negatiivinen takaisinkytkentä!

- $V_{out} = (1 + R_2/R_1) V_{in}$



- Invertoiva kytkentä myös yleinen

- $V_{out} = -V_{in} R_f/R_{in}$



- Ominaisuuksia:

- Käyttöjännite, vahvistus, kaistanleveys, tulon offset-jännite, tulon biasvirta, lähtöjännite, lähtövirta, kohina, CMRR, PSRR, ...

Komparaattori

- Lähtö riippuu tulojen jännite-erojen itseisarvosta
- Käytetään jännitteiden vertailuun
- Operaatiovahvistin ilman takaisinkytkentää toimii komparaattorina
 - Komparaattorit usein paremmin optimoituja tarkoitukseensa

Lineaariregulaattori

- Laskee jännitteen tunnetulle ja vakaalle tasolle
- Hävittää “ylimääräisen jännitteen” lämmöksi
 - $P = (U_{in} - U_{out}) * I$
 - Isoilla jännite-eroilla ja suurilla virroilla surkea hyötysuhde ja todella suuri lämmöntuotto
- Low dropout (LDO) -malleissa pienempi minimijännitteenpudotus
 - Lineaariset ei-LDO:t harvinaisia nykyään
- Vaativat ~aina suodatuskondensaattorit viereensä

Mikropiirit

- Monimutkaisempia kytkentöjä samassa kotelossa
- Mikroprosessorit, lediohjaimet, audiovahvistimet, jne, jne, jne
- Lukuisia erilaisia käyttökohteita