

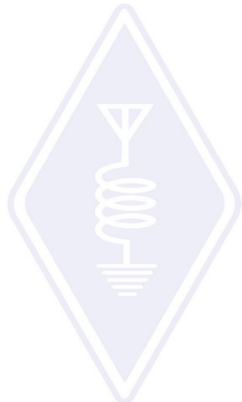
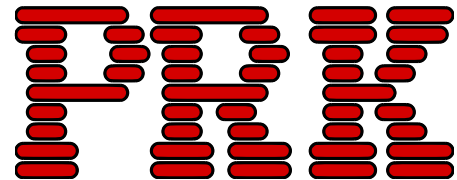
Radioamatöörikurssi 2025

Polyteknikkojen Radiokerho

Luento 3: Elektroniikan perusteet

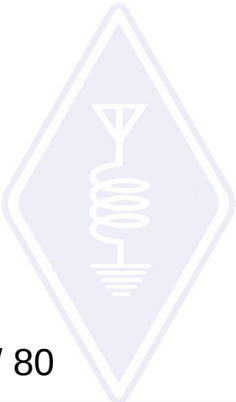
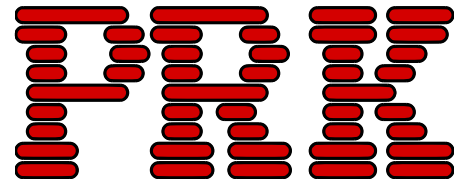
13.5.2025

Juha, OH2EAN

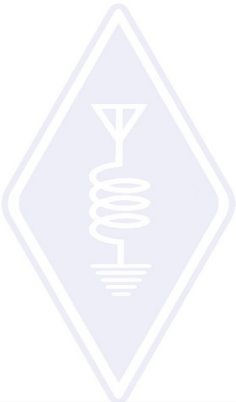
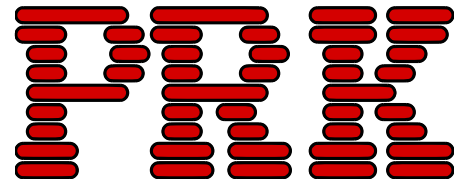


Illan aiheet

- Sähkön perusteita ja käsitteitä
- Elektroniikan peruskomponentit
 - Passiivikomponentit
 - Aktiivikomponentit

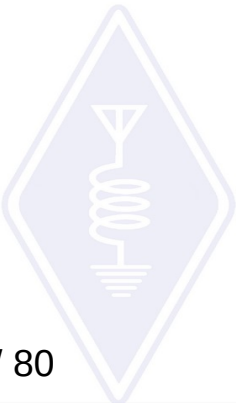
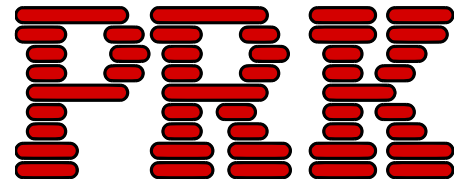


Sähkön perusteita ja käsitteitä



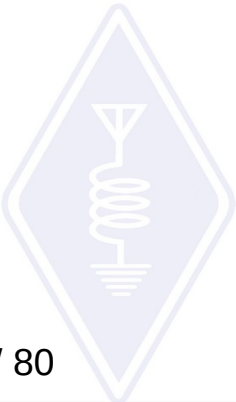
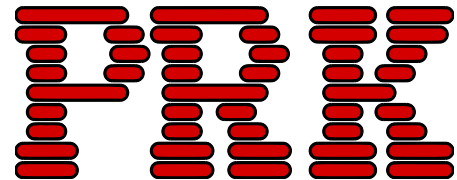
Jännite

- Sähköinen potentiaaliero kahden pisteen välillä
 - Vrt. potentiaalienergia
- Yksikkö Voltti, V
- Esim. paristo 1,5 V, auton akku 12 V, verkkosähkö 230 V



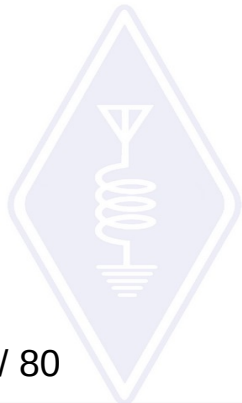
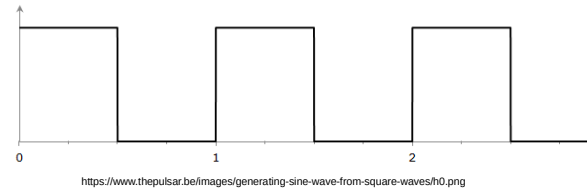
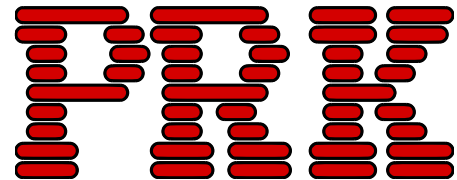
Virta

- Sähköisesti varautuneiden hiukkasten liikettä
 - Kuvaa kulkevan virran, eli elektronien, määrää
- Yksikkö Ampeeri, A
- Esim. ledi 10 mA, 100 W hehkulamppu 0,43 A, pyykkikone 16 A



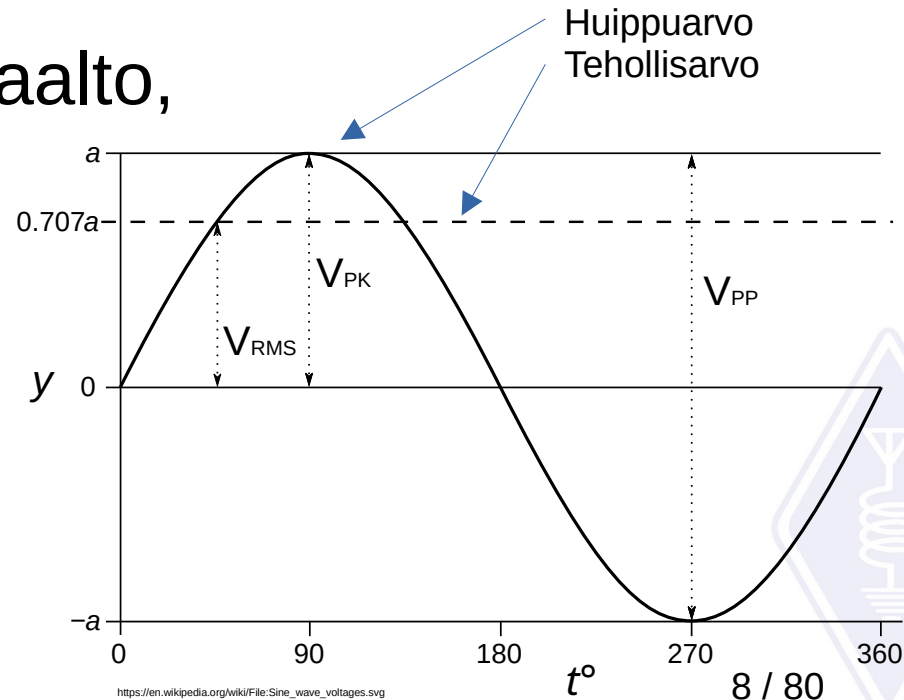
Tasasähkö, DC

- Virran suunta pysyy vakiona
 - Myös jännitteen suunta vakio
 - Katkottu tasasähkö
- Autoissa, laitteiden sisällä, paristoissa



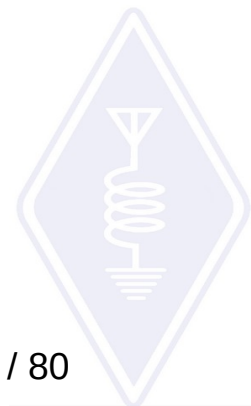
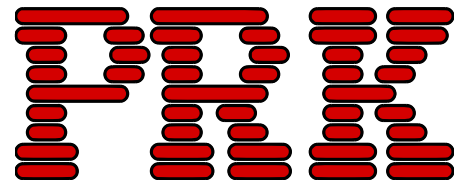
Vaihtosähkö, AC

- Virran suunta vaihtelee ajan funktiona
 - Verkkosähkö (50/60 Hz)
- Aaltomuoto yleensä ns. siniaalto, mutta myös muita esiintyy
- Siniaallolla tehollisarvo (RMS, Root Mean Square)
= Huippuarvo / $\sqrt{2}$



Teho

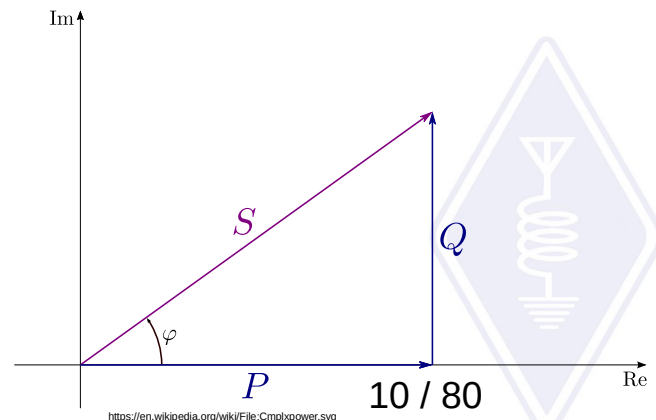
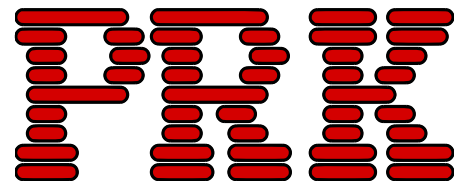
- Energiaa per aikayksikkö ($W = J / s$)
- Yksikkö Watti, W
- $P = U * I$, ...
 - Tasavirralla, vaihtovirralla hieman mutkikkaampaa



Näennäisteho

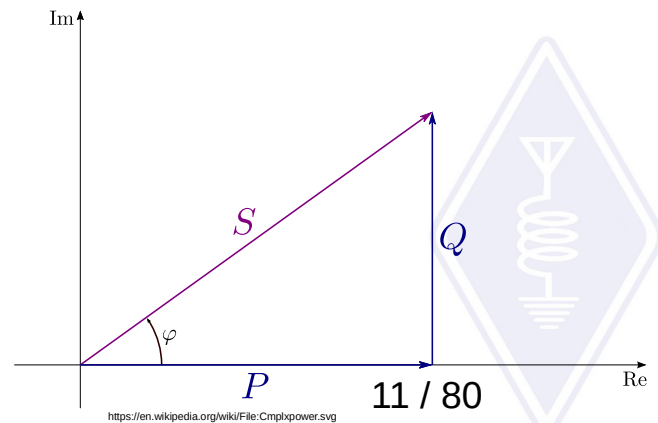
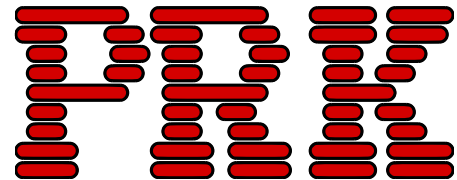
- Vaihtovirralla, tehollisjännitteen ja -virran tulo (RMS)
- Yksikkö Volttiampeeri, VA
- $S = U * I$
- Jos jännite ja virta samassa vaiheessa: näennäisteho $S =$ pätöteho P , muuten $S > P$
- Sinimuotoisilla jännitteillä ja virroilla

$$- S^2 = P^2 + Q^2$$



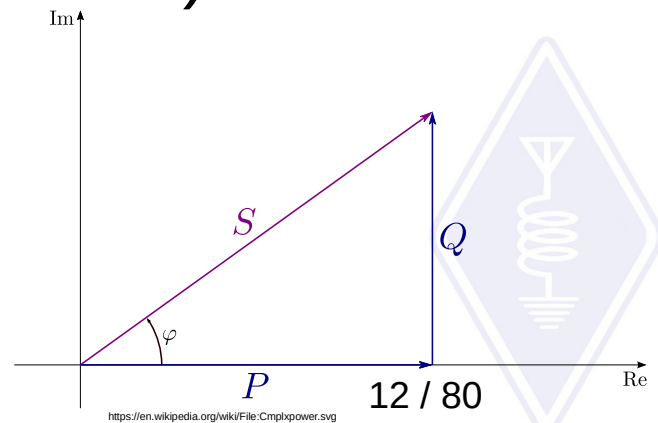
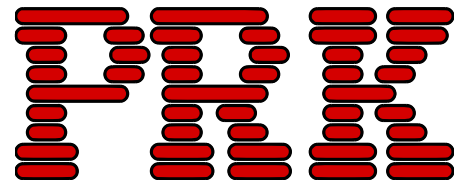
Pätöteho

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



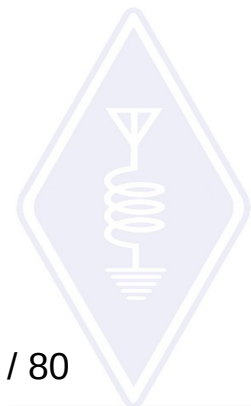
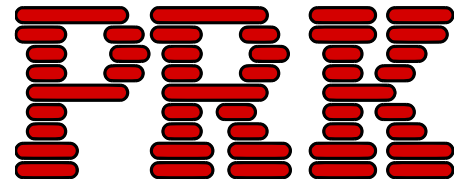
Loisteho

- 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)
- $Q = U * I * \sin \varphi$



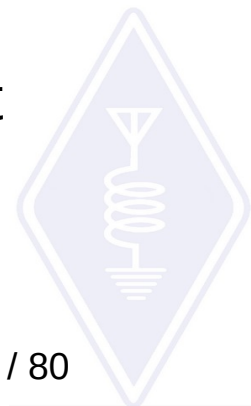
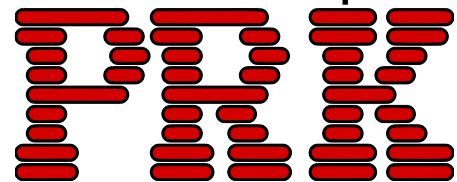
Desibeli, dB

- Suhdeluku: $X = 10 \log_{10} (A / B)$
 - A = mitattava suure, B = vertailusuure
 - Esim. A = vahvistimen lähtöteho, B = vahvistimen tuloteho
 - Käänteisesti $A / B = 10^{X/10}$ tai $A = B * 10^{X/10}$
- Voidaan myös referoida tiettyyn tehotasoon
 - Radiotekniikassa verrataan yleisesti 1 mW:iin $\rightarrow$ 0 dBm
- Muuttaa kertolaskut yhteenlaskuiksi
- Suuret dynamiikkaerot maltillisen kokoisilla luvuilla

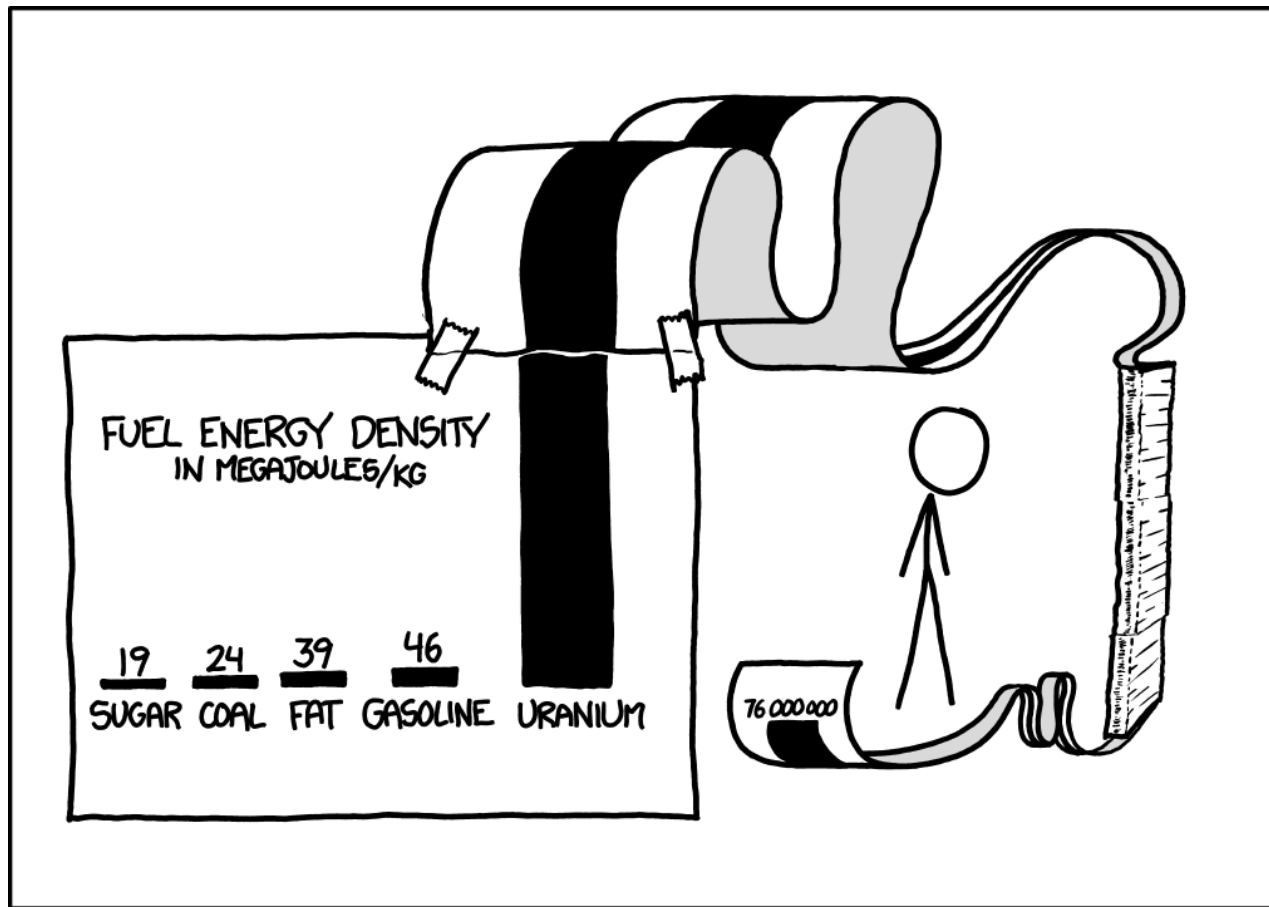


Desibeli, dB

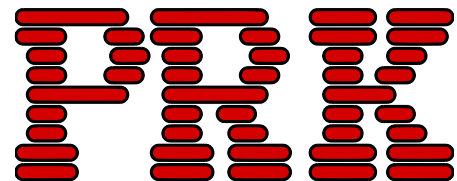
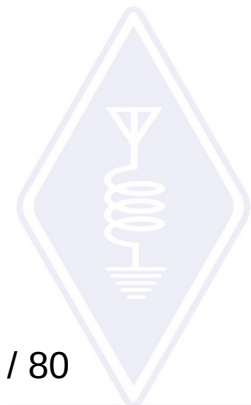
- Logaritminen:
 - 0dB → sama
 - +3 dB → tupla, -3 dB → puolikas
 - Tarkka arvo: $10 \log_{10} (2/1) = 3.01 \text{ dB}$ (virhe ~0,47 %)
 - +10 dB → kymmenkertainen, -10 dB → kymmenesosa
 - Esim. +23 dB → 200, -13 dB → 0,05 (= 1/20), +46 dB → 40 000
 - Jännitteille ja virroille $X = 20 \log_{10} (A / B) \rightarrow$ desibelimäärät tuplana ($\pm 6 \text{ dB}$, $\pm 20 \text{ dB}$)



Desibeli, dB

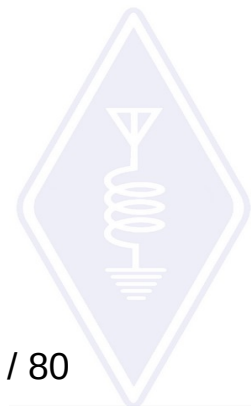
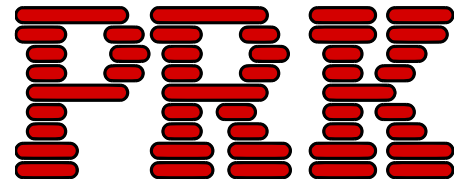


SCIENCE TIP: LOG SCALES ARE FOR QUITTERS WHO CAN'T
FIND ENOUGH PAPER TO MAKE THEIR POINT *PROPERLY*.



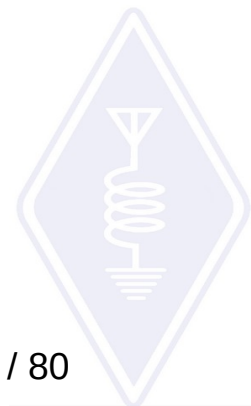
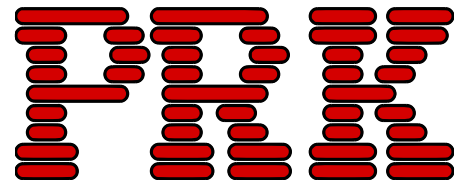
Desibeli, dB

- Tavallisia referenssitasoja
 - 0 dBm $\rightarrow$ 1 mW; 0 dBW $\rightarrow$ 1 W (0 dBW = 30 dBm)
 - dBm yleisesti radiotekniikassa, dBW erityisesti viranomaisyhteyksissä
 - 0 dBuV $\rightarrow$ 1 μ V
 - Vastaanotintekniikassa, kaapeli-tv-järjestelmissä (50 Ω , 75 Ω , 600 Ω)
 - 0 dBV $\rightarrow$ 1 V
 - dBc $\rightarrow$ carrier, kantaalto, dBFS $\rightarrow$ Full scale
 - dBi $\rightarrow$ Isotrooppinen säteilijä, dBd $\rightarrow$ dipoli



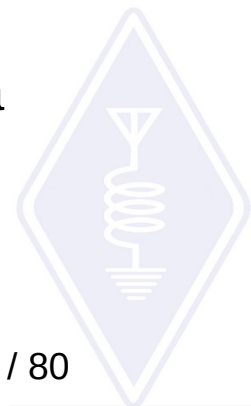
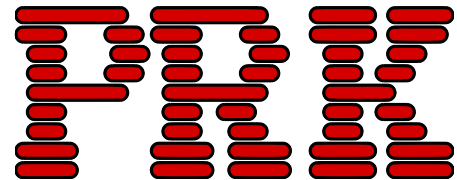
Resistanssi

- Komponentin, johtimen tai piirin osan kyky/ominaisuus vastustaa sähkövirtaa
 - Jännitteen ja virran suhde, $R = U / I$
- Yksikkö Ohmi, Ω
- Käänteissuure konduktanssi, yksikkö Siemens, S
 - Wanhemmassa kirjallisuudessa myös Mho, $\mathcal{U}$



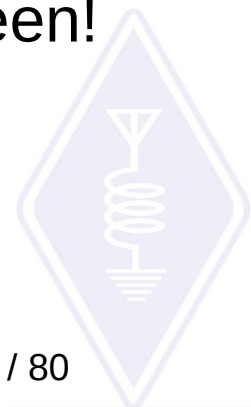
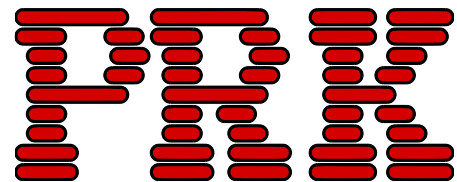
Impedanssi

- ”Vaihtovirtaresistanssi”
- Yksikkö Ohmi, Ω
- Induktanssi ja kapasitanssi aiheuttavat reaktanssia, joka riippuu taajuudesta
 - $Z = R + X_L + X_C = R + j\omega L + 1 / j\omega C$
 - Kulmataajuus $j\omega = 2 * \pi * f$
- Käänteissuure admittanssi, yksikkö Siemens, S
 - Wanhemmassa kirjallisuudessa myös Mho, $\mathcal{U}$
- Nimellisimpedanssi → siirtolinjat, jännitteen ja virran suhde, ei vastusta virran kulkua, ei voi mitata johdon päiden väliltä



Maa, ground, GND

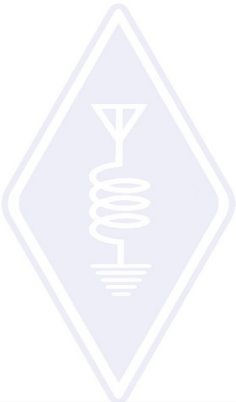
- Yksi kytkennän jännitepotentiaaleista valitaan referenssisitasoksi (0 V), jota kutsutaan maaksi
 - Muita jännitteitä verrataan tähän referenssisitasoon
 - Myös sähköverkon suojamaa (PE), potentiaalintasausmaa, eri kytkennän osien maat (esim. analogi- ja digitaalimaat), maapallo, jne
 - Akkukäyttöisissä laitteissa yleensä akun – -napa
- Lähtökohtaisesti kytkennän kaikki maat kytketään aina yhteen!
 - Yhdistämiskohta ja -tapa riippuu käyttötarkoituksesta ja mm. suojaustarpeesta sekä häiriöiden hallinnasta



Elektroniikan peruskomponentit

Passiivikomponentit

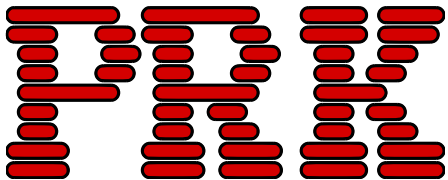
PAK



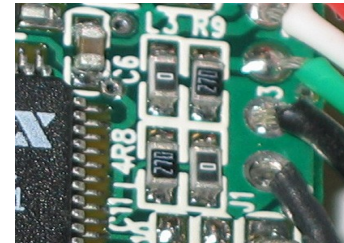
Vastus



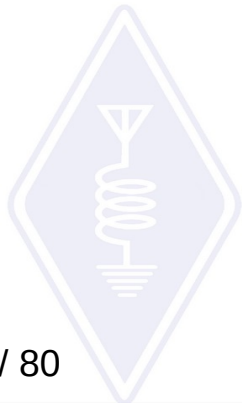
- Vastustaa virran kulkua
 - Resistanssi ilmoitetaan yleensä värikoodatuilla renkailla tai niitä vastaavilla numeroilla
- Ominaisuuksia:
 - Resistanssi ($R = U / I$), yksikkö Ohmi, Ω
 - Toleranssi %, tehonkesto W, lämpötilariippuvuus ppm/K, fyysinen koko
- Käyttötarkoituksia:
 - Rajoittaa virran kulkua, muodostaa jännitteenjakoja, esijännittää (biasoida) aktiivikomponentteja, sovittaa/terminoida siirtojohtoja, lämmittää, kuluttaa hukcatehoa, ylösveto-/alasvetovastuksena, jumpperina/valitsimena (0R), jne...
- Säädetävät vastukset ~ trimmerit, potentiometrit, (rheostaatit)
- Säätyvät vastukset ~ LDR – valo, NTC & PTC – lämpö, VDR - jännite
- Lämpökohina (Johnson-Nyquist -kohina)



https://en.wikipedia.org/wiki/File:3_Resistors.jpg



https://en.wikipedia.org/wiki/File:Zero_ohm_resistors_cropped.jpg

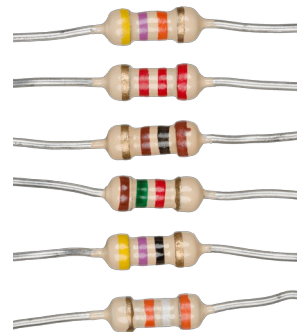


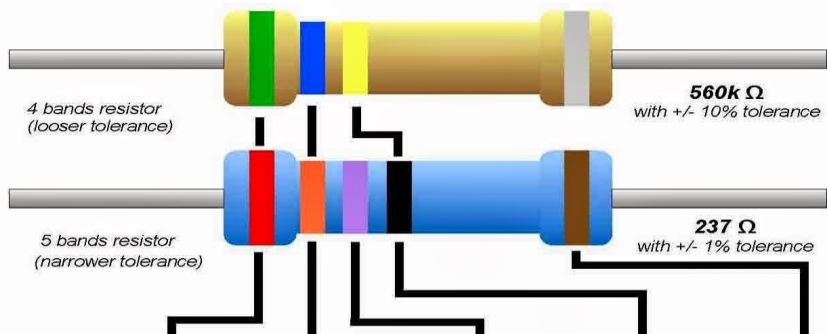
Vastusten värikoodit

- Lähes aina 4- tai 5-renkaisia
 - Arvo 2 tai 3 renkaalla + kerroin + toleranssi
 - Isoissa vastuksissa joskus painettu numeroina, pintaliitosvastuksissa yleensä värikoodi numeroina (esim. 472 → 4,7 kΩ), joskus mystinen koodi, vain väritäplä tai ei lainkaan merkintää
- Toleranssirengas erottuu yleensä jotenkin, paksumpi/ohuempi tai hieman erillään
 - Vinkki: muut kuin 1 % ja 5 % (ja 10 %) erittäin harvinaisia
- Yleismittari pelastaa vaikeissa tapauksissa



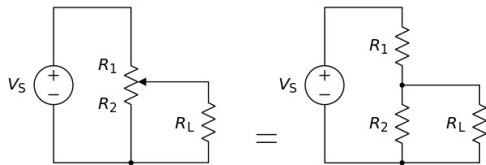
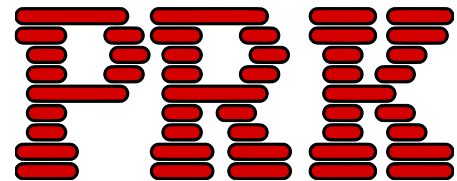
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/dd/92/2.26_kilo-ohm_precision_resistor.jpg



Resistor Color Code					
					
4 bands resistor (looser tolerance)					560k Ω with +/- 10% tolerance
5 bands resistor (narrower tolerance)					237 Ω with +/- 1% tolerance
Color	1 st Band	2 nd Band	3 rd Band	Multiplier	Tolerance
Black	0	0	0	x 1 Ω	
Brown	1	1	1	x 10 Ω	+/- 1%
Red	2	2	2	x 100 Ω	+/- 2%
Orange	3	3	3	x 1K Ω	
Yellow	4	4	4	x 10K Ω	
Green	5	5	5	x 100K Ω	+/- 5%
Blue	6	6	6	x 1M Ω	+/- 25%
Violet	7	7	7	x 10M Ω	+/- .1%
Grey	8	8	8		+/- .05%
White	9	9	9		
Gold				x .1 Ω	+/- 5%
Silver				x .01 Ω	+/- 10%

Potentiometri, trimmerivastus

- Säädettävä vastus
 - Muodostaa jännitteenjaon, paitsi rheostaattikytkentä vain säädettävän vastuksen
 - Potentiometri – käsin säädettävä, trimmeri – työkalulla säädettävä
 - Usein trimmeri säädetään kerran, esim. laitteen valmistusvaiheessa tai kalibroinnissa
 - Yleensä pyöritettäviä, myös lineaarisesti säädettäviä
- Lineaarinen, logaritminen, erikoisemmat konfiguraatiot, stereopotentiometri, yhdistetty kytkin
- Enkooderi, rotary encoder



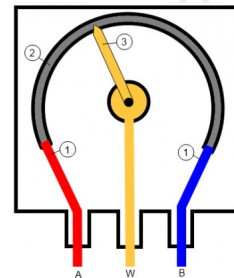
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c9/Potentiometer_with_load.svg



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f4/12_board_mounted_potentiometers.jpg



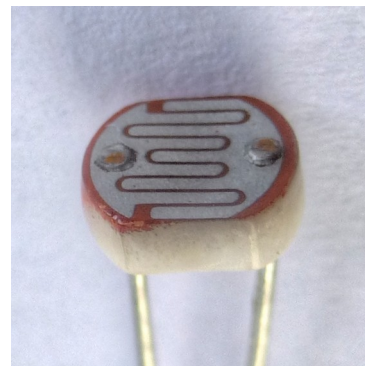
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0a/Electronic-Component-Potentiometer.jpg>



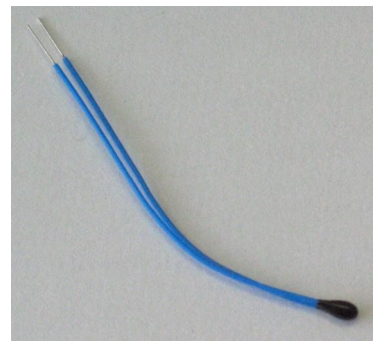
<https://www.phidgets.com/docs/images/thumb/4/4b/Potentiometerdiagram.png/350px-Potentiometerdiagram.png>

LDR, NTC, PTC

- LDR: valovastus
 - Resistanssi pienenee valoisuuden lisääntyessä
- NTC: lämpövastus
 - Resistanssi pienenee lämpötilan kasvaessa
- PTC: lämpövastus
 - Resistanssi kasvaa lämpötilan kasvaessa
- Käytetään yleensä jännitteenjakajissa
 - Mitattavasta suureesta riippuva jännite
 - Esimerkkejä myöhemmin

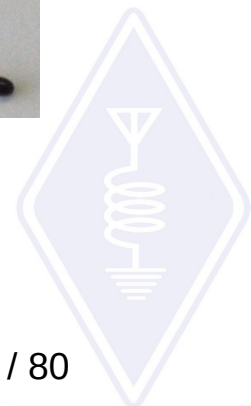


https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bb/LDR_1480405_6_7_HDR_Enhancer_1.jpg



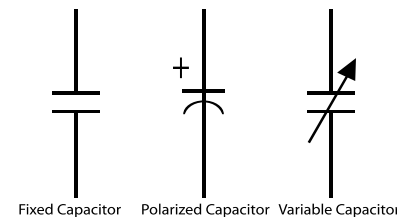
https://en.wikipedia.org/wiki/File:NTC_bead.jpg

PAK

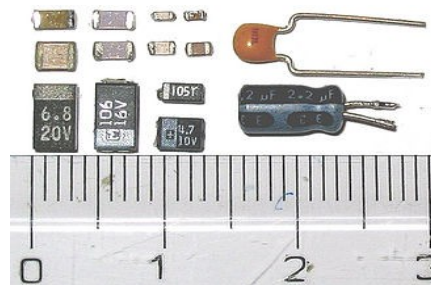


Kondensaattori

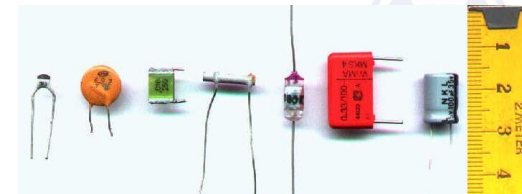
- Varastoi energiaa sähkökenttään
- Ominaisuuksia:
 - Kapasitanssi $C = Q / U$, $C = \epsilon * A / d$, yksikkö Faradi, F
 - Impedanssi $Z = 1 / (j\omega C) = 1 / (2 * \pi * f * C)$, yksikkö Ohmi, Ω
 - Jännitteenkesto V, toleranssi %, käyttölämpötila-alue °C, ESR Ω , maksimi rippelivirta A, itseisresonanssitaajuus Hz
 - Elektrolyytti- ja tantaalikondensaattorit polaarisia, muut eivät
 - Myös erityisiä bipolaarisia elektrolyyttikondensaattoreita (lähinnä audiokäyttöön)
- Käyttötarkoituksia:
 - Jännitteen tasaaminen, suodattimet, resonanssipiirit, tasavirran pysäyttäminen, muistin varmentamiseen, läpivientikondensaattorina
- Myös säädettäviä



[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Capacitors_\(7189597135\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Capacitors_(7189597135).jpg)



<https://en.wikipedia.org/wiki/File:Photo-CAPs-on-a-board.jpg>

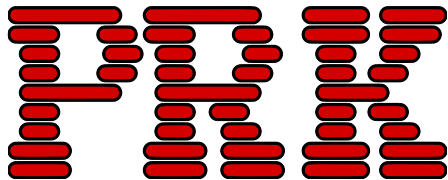


<https://en.wikipedia.org/wiki/File:Condensators.JPG>

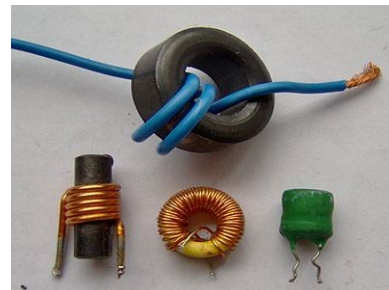
Kela



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



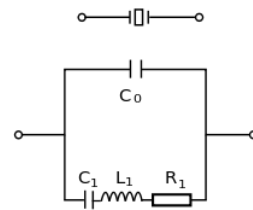
[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Two_inductors_\(437342545\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Two_inductors_(437342545).jpg)



https://en.wikipedia.org/wiki/File:Electronic_component_inductors.jpg



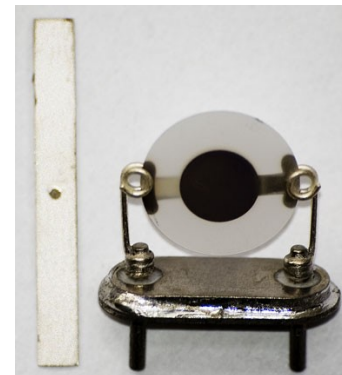
Kide



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



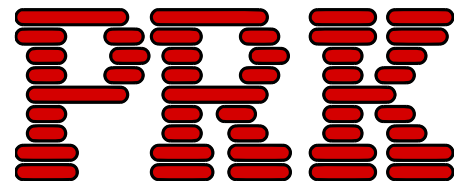
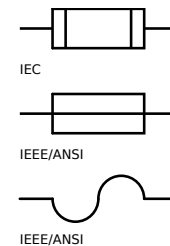
https://en.wikipedia.org/wiki/File:16MHz_Crystal.jpg



<https://en.wikipedia.org/wiki/File:Krystalov%C3%A9-v%C3%BDbrusy.jpg>

Sulake

- Suojaa johdinta ja laitetta ylivirralla ja ylikuumenemiselta
 - Katkaisee virtapiirin ylivirta- ja oikosulkuilanteissa
 - Pienentää tulipalon riskiä merkittävästi
 - Virrankatkaisukyky mitoitettava syötön oikosulkuvirran mukaan
- Polyfuse, eFuse, lämpösulake
- Erityisen tärkeä käytettäessä suureen anto-/oikosulkuvirtaan kykenevää tehrolähdettä
 - Esim. litium- ja lyijyakut, verkkosähkö



https://en.wikipedia.org/wiki/File:Electrical_fuses_plug-in_type_different_sizes.jpeg



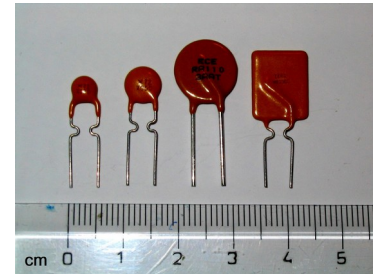
<https://en.wikipedia.org/wiki/File:Tektronixoscilloscope442backfuse-ccbysawikipedia.jpg>



<https://www.reddit.com/media?url=https%3A%2F%2Ff1.redd.it%2Fxsxnp2cdfo21.jpg>

Sulake

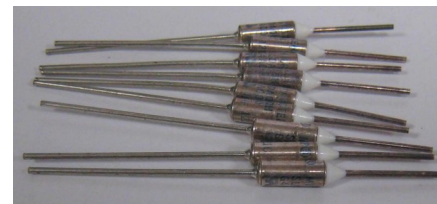
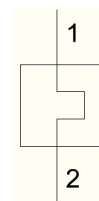
- Polyfuse
 - Ylikuormituksen jälkeen palautuva sulake, läpäisyominaisuudet heikkenevät toimintakertojen ja lämpenemisen myötä
- eFuse
 - Sähköisesti ohjattu palautuva sulake, yleensä koteloitu mikropiiriin kaltaisesti, voi olla sisäisellä tai ulkoisella kytkimellä (MOSFET)
- Lämpösulake
 - Toimii yllilämmöstä, voi olla palautuva (vrt. termostaatti)
 - Muuntajat, moottorit, kahvinkeitTIMET ym.



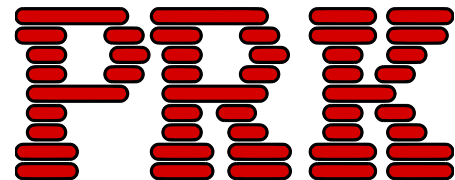
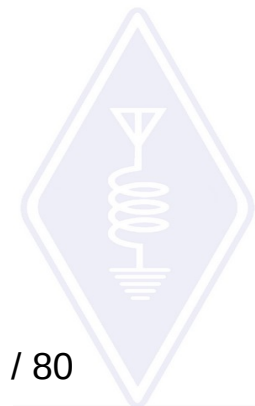
<https://en.wikipedia.org/wiki/File:Photo-Polyswitch.jpg>



https://en.wikipedia.org/wiki/File:Thermal_switches.jpg

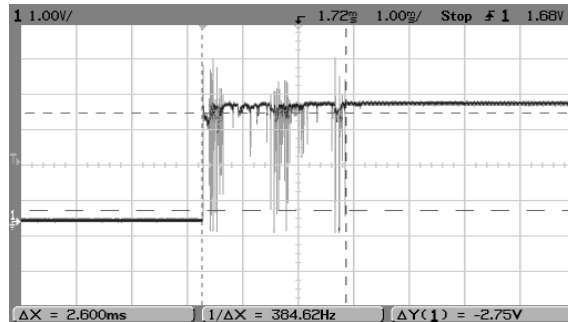


https://en.wikipedia.org/wiki/File:Thermal_cutoff.jpg

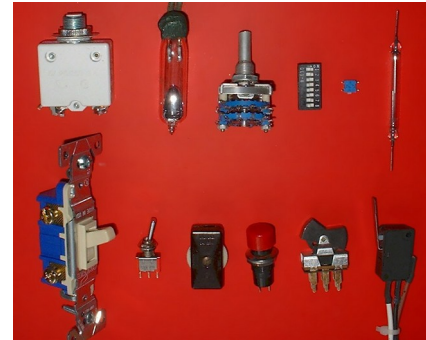


Kytkin

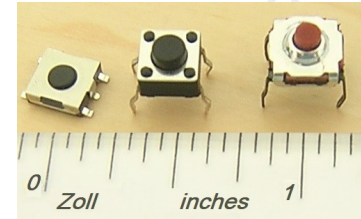
- Painonappi, vipukytin, keinukytin, liukukytin, jne, ...
- Signaalien ja virtojen ohjaukseen, käyttöliittymät
- Erilaisia topologioita: sulkeva, vaihtava, useampinapaiset, jne, ...
- Jännitteen- ja virrankesto, erityisesti verkkokytkimessä!
- Kytchentävärinä (bounce), värinän poisto (debounce)



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ac/Bouncy_Switch.png

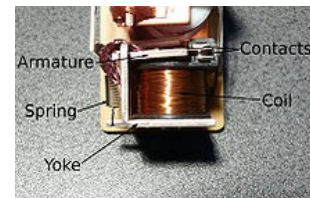


<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3a/Switches-electrical.agr.jpg>

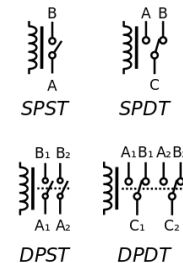


https://en.wikipedia.org/wiki/File:Tactile_switches.jpg

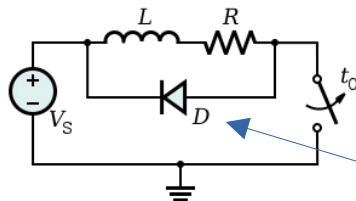
Rele



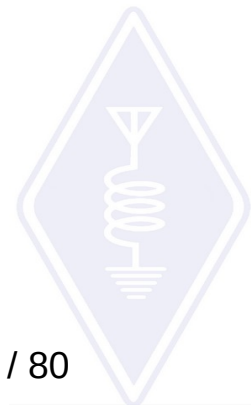
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Relay_Parts.jpg



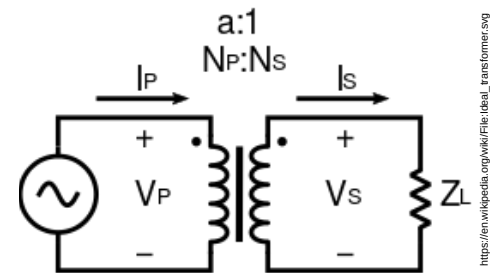
- Sähköisesti ohjattava kytkin
- Perinteisesti mekaanisella kytkimellä, mutta nykyään myös puolijohdekytkimellä (Solid state relay, SSR)
 - Ohjauskelan back-EMF rikkoo helposti ohjaavan kytkennän, jos kelan yli ei ole estosuuntaista diodia!
- Ominaisuuksia
 - Kytkettävä maksimijännite V ja -virta A (AC, DC), kytkentänopeus ms, kytkentäkertojen määrä, ohjauksen kytkentä- ja pitojännite V ja -virta A, ohjauskelan impedanssi Ω , jännitteen erotuskyky
- Käyttötarkoituksia
 - Suuren virran kytkeminen pienellä virralla, galvaaninen erotus, kytkentämatriisit



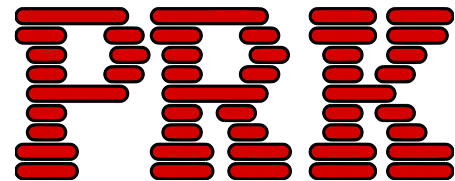
Flyback-diodi (estosuuntaan)



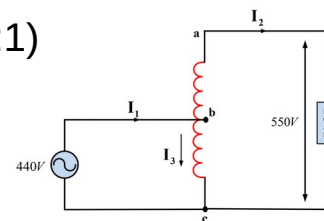
Muuntaja



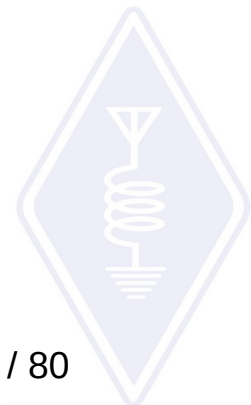
- Vaihtosähkön jännitteen muuttamiseen tai galvaaniseen erottamiseen, impedanssitasojen sovittamiseen (siirtolinjat, antennit [balun])
 - Vaatii toimiakseen vaihtosähköä (muuttuvan magneettikentän), myös katkottua tasasähköä
- Ominaisuuksia:
 - Muuntosuhde $N_1/N_2 = U_1/U_2 \approx I_2/I_1$
 - Nimellis- ja maksimijännite V sekä -virta A , muuntosuhde, käämien lukumäärä ja konfiguraatio, eristysluokka
- Säästömuuntaja (autotransformer) ei ole galvaanisesti erotettu
- Säästömuuntajalla (variac) on säädettävä kierrosten suhde
 - Kytketty säästömuuntajaksi, ja vaatii aina erillisen erotusmuuntajan (1:1)



<https://www.electronicshub.org/wp-content/uploads/2015/01/Variable-Auto-transformer.png>

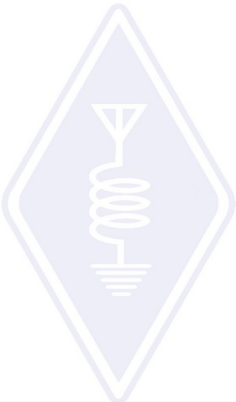
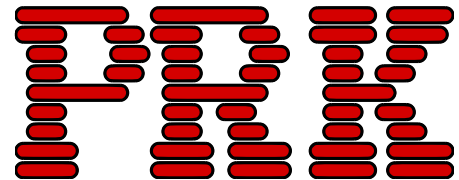


<https://electricalacademia.com/wp-content/uploads/2017/12/autotransformer-example-1024x707.gif>

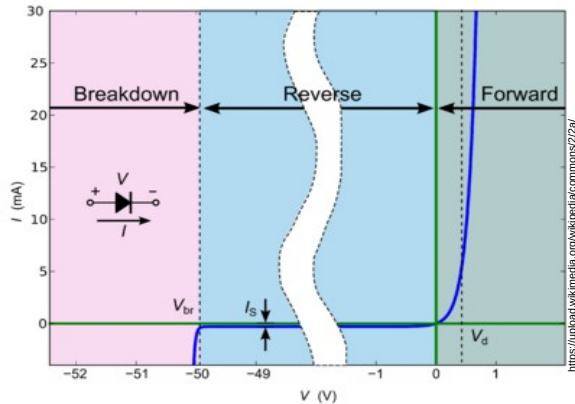


Elektroniikan peruskomponentit

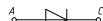
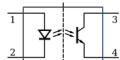
Aktiivikomponentit



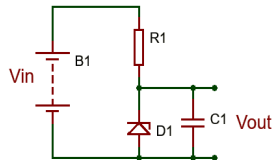
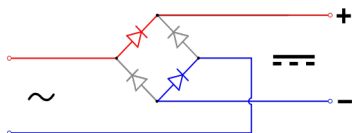
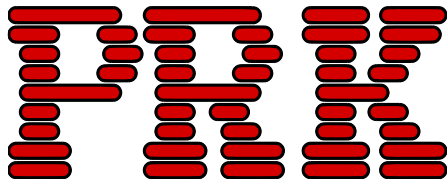
Diodi



- Johtaa virtaa vain yhteen suuntaan
 - Toiseen suuntaan eriste, toiseen suuntaan ”johde”
 - Päästösuuntaan nk. kynnysjännite, riippuu puolijohteen materiaalista, rakenteesta ja läpi kulkevasta virrasta, piidiodeilla noin 0,6 V
 - Päästösuuntaan jännite putoaa kynnysjännitteen verran, aiheuttaa myös lämpenemistä diodissa
- 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 vakavointiin,

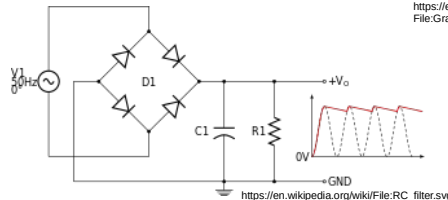
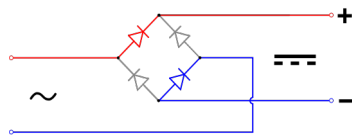
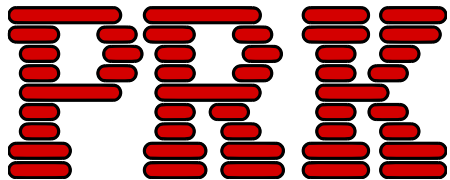
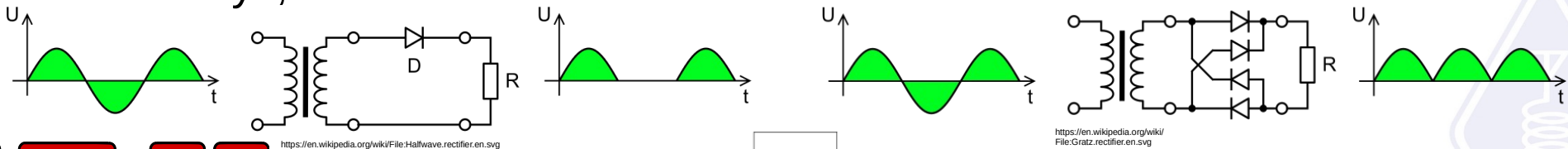
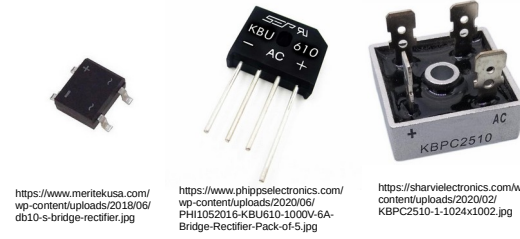


LED, fotodiodi, optoerottimet, Schottky-diodi, Zener-diodi, PIN-diodi, varaktori/kapasitanssidiodi, TVS, jne...

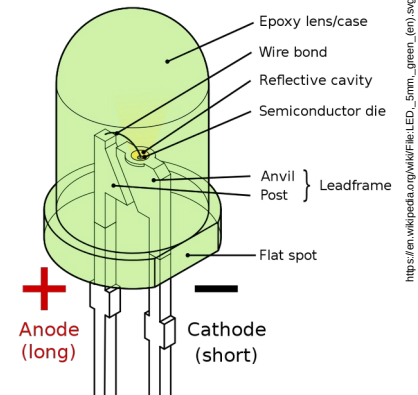
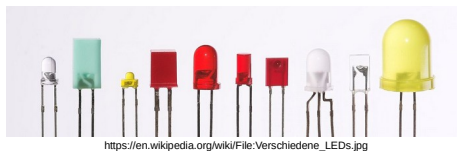


Tasasuuntaaja

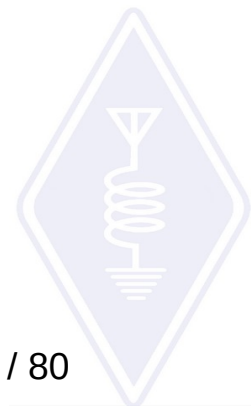
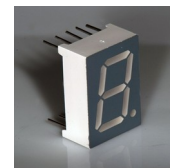
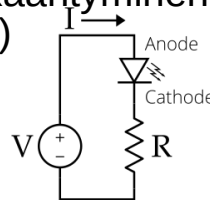
- Vaihtosähkön muuttamiseksi tasasähköksi, jännitteensyötön napaisuussuojana
- Puoli- ja kokoaaltotasasuuntaajat diodeilla, aktiivitasasuuntaajat (tyristorit, FETit, ...), (menneisyydessä myös tasasuuntausputket ja seleentasasuuntaajat)
- Myös valmiita tasasuuntaussiltoja olemassa
- Ominaisuuksia
 - Maksimijännite V ja -virta A, jäähdytyksen tarve, mekaaninen koko, kiinnitys, liitännät



LED

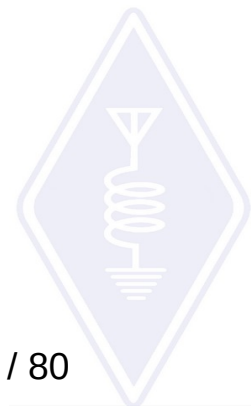
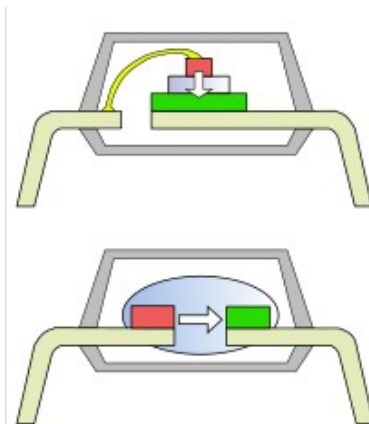
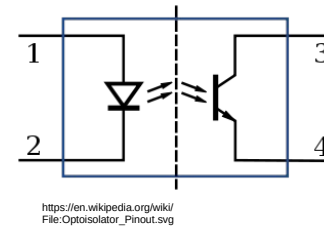


- Erikoismateriaalinen diodi (esim. GaAs, GaInP, ...), jonka puolijohdeliitos emittoi valoa, kun sen läpi kulkee virtaa
- Emittoidun valon aallonpituus riippuu mm. puolijohdeliitoksen materiaaleista
 - Nykyään myös melko paljon sinisiä ledejä muunvärisellä fosforipinnoitteella (esim. kaikki valkoiset ledit)
- Puolijohdemateriaalit/ledin väri vaikuttavat kynnysjännitteeseen, esim. punainen → ~1,6 V, keltainen → ~1,7 V, vihreä → ~1,8–1,9 V, sininen → 3,4–3,6 V, IR → ~1,2 V–1,5 V
- Myös useampia LED-puolijohteita samassa kotelossa (esim. RGB), erilaisia LED-ohjaimia samassa kotelossa (esim. erilaiset vilkkuledit)
- Ominaisuuksia (normaalien diodien lisäksi)
 - Aallonpituus/väri nm, valovirta/kirkkaus cd, ikääntyminen ("tehon heikkeneminen"), hyötysuhde (virran suhteen), (jäähdytystarve)

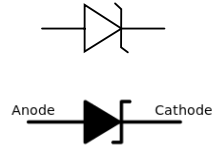


Optoerotin

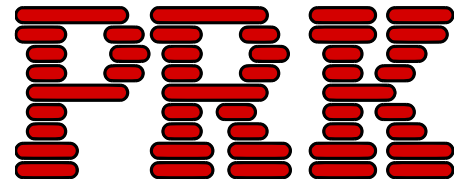
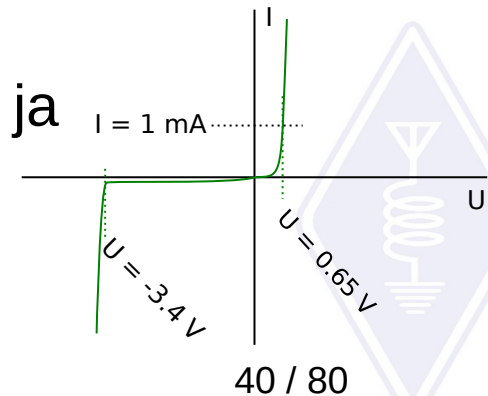
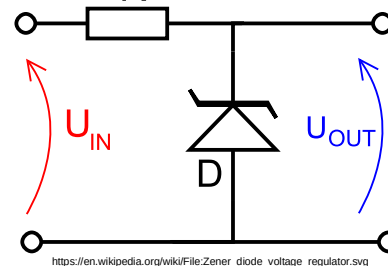
- Signaalien galvaaniseen erottamiseen
- IR-LED + fotodiodi tai fototransistori
- Ominaisuuksia
 - Ledin kynnysjännite V ja maksimivirta A , fotodiodin maksimijännite V ja -virta A , erotusjännite V , nopeus



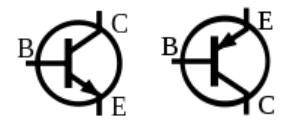
Zener-diodi



- Päästösuuntaan käyttäytyy tavallisen diodin kaltaisesti
- Estosuuntaan Zener-jännitteellä hallittu (ei-tuhoisa) läpilyönti
- Ominaisuuksia (tyypillisten diodien ominaisuuksien lisäksi)
 - Zener-jännite V , tehonkesto W , lämpötilakerroin ppm/K
- Käyttökohteita
 - Jännitteen stabilointi, jännitereferenssi, transientti- ja ylijännitesuojaukseen, ...

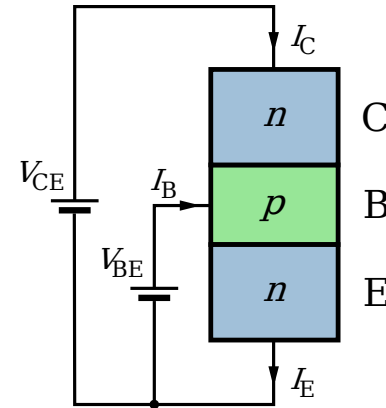


Bipolaaritransistori, BJT

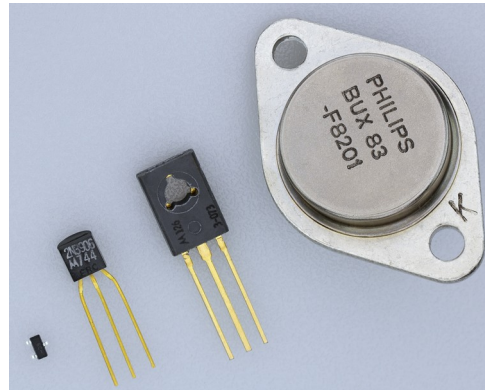


B – Base, kanta
C – Collector, Kollektori
E – Emitter, Emitteri

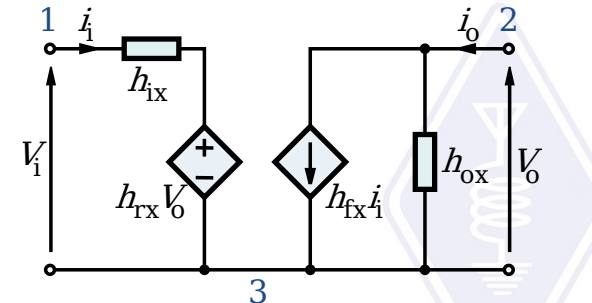
- Virtaohjattu vahvistin/kytkin
- Erilaisia toimintatiloja ja toimintapisteitä, NPN- ja PNP-tyypit
- Ominaisuuksia:
 - Kollektorin maksimivirta riippuu kantavirrasta, $I_{Cmax} = I_B * \beta$
 - Maksimi CE- ja BE-jännite V, maksimi C- ja B-virta A, virtavahvistuskerroin β/hFE , tehonkesto W, maksimitaajuus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



https://en.wikipedia.org/wiki/File:NPN_BJT_-_Structure_-_circuit.svg

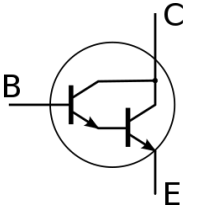


[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Transistorer_\(cropped\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Transistorer_(cropped).jpg)

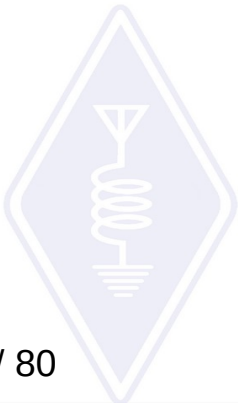
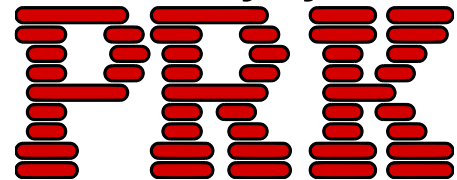


[https://en.wikipedia.org/wiki/File:BJT_h-parameters_\(generalised\).svg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:BJT_h-parameters_(generalised).svg)

BJT-transistorin Darlington-kytkentä

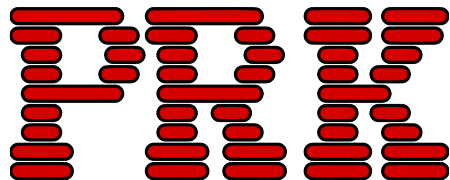
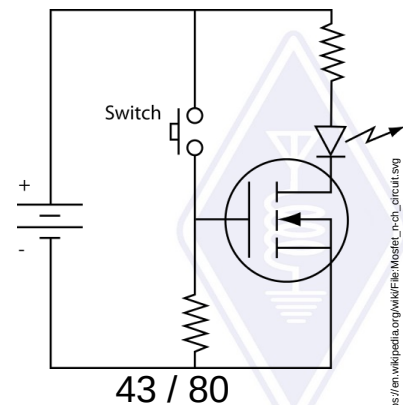
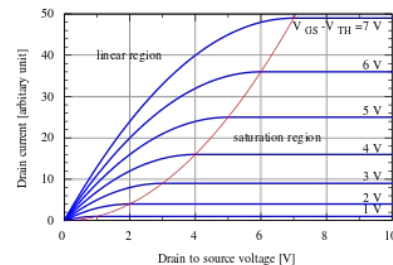
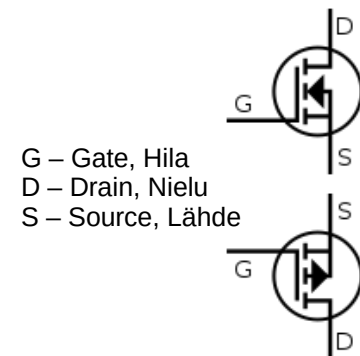


- BJT-transistorilla rajallinen virtavahvistus
- Suurempien virtojen ohjaamiseen voidaan käyttää nk. Darlington-kytkentää
 - Transistoreja "ketjutettu" peräkkäin
- Erilliskomponenteista tai valmiina komponenttina
- Yleensä merkittävästi suurempi virtavahvistus (h_{FE}), kuin "normaalilla" transistorilla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

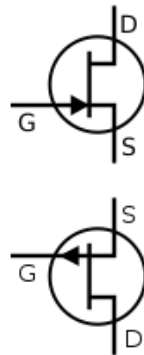


Kanavatransistori, FET, MOSFET

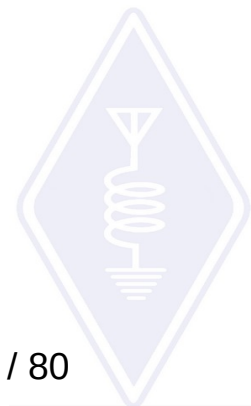
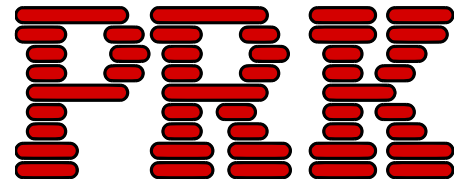
- Jänniteohjattu vahvistin/kytkin
 - Lineaaritila, saturaatiotila, N-MOS- ja P-MOS-tyypit
 - *Yleensä* merkittävästi helppokäyttöisempi kuin bipolaaritransistori
 - Vastaa toiminnaltaan elektroniputkea
 - Lähes aina integroitu (estosuuntainen) diodi, lähes aina johtamaton kanava ilman ohjausta (avaustyyppinen, enhancement mode; on olemassa myös sulkutyyppisiä, depletion mode)
- Ominaisuuksia
 - Maksimi DS- ja GS-jännite V, maksimi nieluvirta (I_{Dmax}) A, $V_{GS(th)min}$ -kynnysjännite V, tehonkesto W, transkonduktanssi S, hilakapasitanssi pF, maksimitaajuus Hz
- Käyttökohteita
 - Kytkimenä, vahvistimena, invertterinä, ideaalidiodina



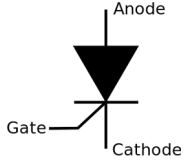
Liitoshilatransistori, JFET



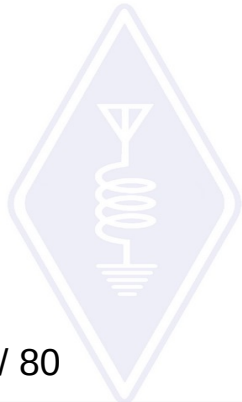
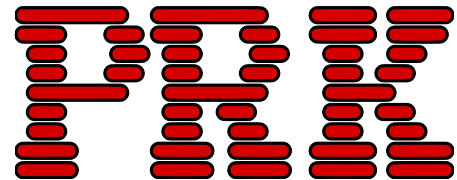
- Jänniteohjattu vastus, jänniteohjattu kytkin
- Kanava kaksisuuntainen, eikä yleensä integroitua diodia, jolloin kytkentäsuunta vaikuttaa lähinnä hilan toimintaan
- Voidaan käyttää esim. jänniteohjattuna "volumesäätimenä" audiosovelluksissa
 - Melko yleinen myös matalakohinaisissa vahvistimissa
- Kanava johtavassa tilassa ilman ohjausta (sulkutyyppinen, depletion mode)



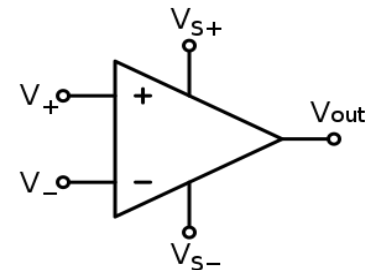
Tyristori



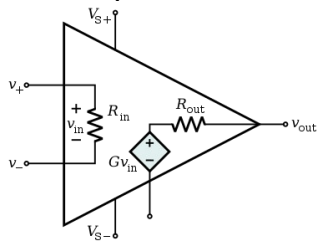
- Silicon controlled rectifier, SCR
- Liipaistava kytkin, joka johtaa kunnes jännite laskee tarpeeksi
 - Myös Gate turnoff (GTO) -malleja olemassa
- Ei kovin yleisiä nykyään
- Ominaisuuksia:
 - Jännitteen- V , virran- A ja tehon- W kesto, kytkentänopeus s , liipaisujännite V ja -virta A
- Käyttökohteita
 - Tasa- ja vaihtosuuntaajissa, suojapiireissä



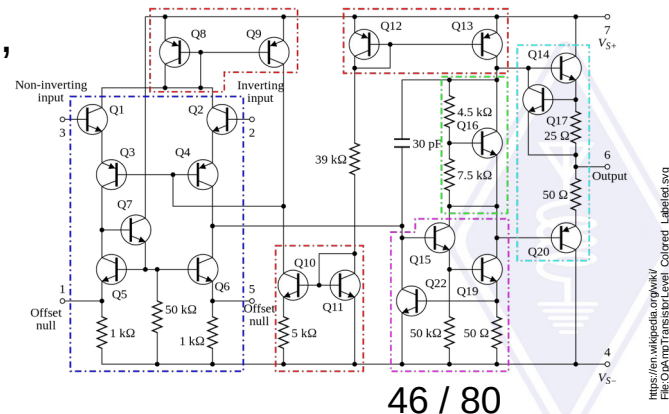
Operaatiovahvistin



- Suurivahvistuksinen differentiaalivahvistin
 - Kaksituloinen vahvistin, vahvistaa tulojen jännite-eron
 - Invertoiva ja ei-invertoiva tulo, $V_{OUT} = A_{OL} (V+ - V-)$
- Ideaalisesti ääretön vahvistus ja kaistanleveys, negativisesti takaisinkytkettynä tulojen välillä ns. virtuaalioikosulku
- Ominaisuuksia
 - Käyttöjännite, vahvistus, kaistanleveys (GBWP), tulon offset-jännite, tulon biasvirta, lähtöjännite, rail-to-rail, lähtövirta, lähtöjännitteen muutosnopeus (slew rate),
kohina, yhteismuotoisen signaalinn vaimennus CMRR, käyttöjännitteen muutoksen vaimennus PSRR, ...
- Instrumentaatiovahvistin, erotusvahvistin, komparaattori



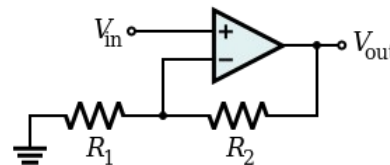
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Op-Amp_Internal.svg



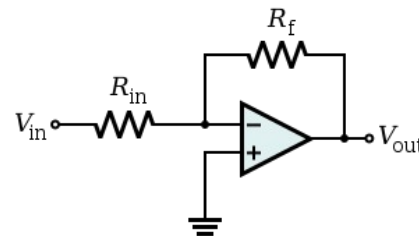
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Opamp_1st_stage_Colored_Labelled.svg

Operaatiovahvistin

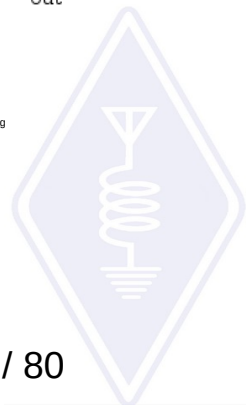
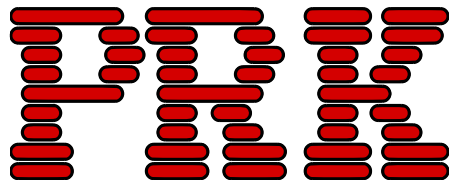
- Negatiivinen takaisinkytkentä pienentää vahvistusta
- Ei-invertoiva vahvistin
 - $V_{out} = (1 + R_2/R_1) * V_{in}$
- Invertoiva vahvistin myös yleinen
 - $V_{out} = -V_{in} * R_f/R_{in}$
- Käyttötarkoituksia
 - Vahvistin, komparaattori, virtuaalimaa, virran mittaus



https://en.wikipedia.org/wiki/File:Op-Amp_Non-Inverting_Amplifier.svg



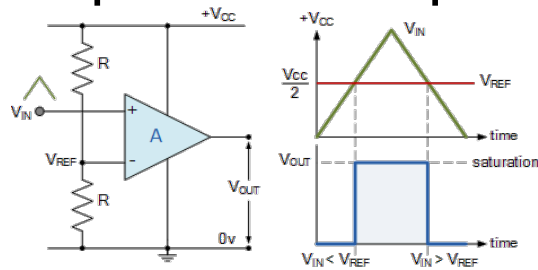
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Op-Amp_Inverting_Amplifier.svg



Komparaattori

- Lähtö riippuu tulojen jännite-eron itseisarvoista
- Käytetään jännitteiden vertailuun
- Lähtö yleensä open collector- tai open drain-tyyppinen
 - Vaatii pull-up-vastuksen lähtöön
- Operaatiovahvistin ilman takaisinkytkentää toimii komparaattorina
 - Komparaattorit usein paremmin optimoituja tarkoitukseensa

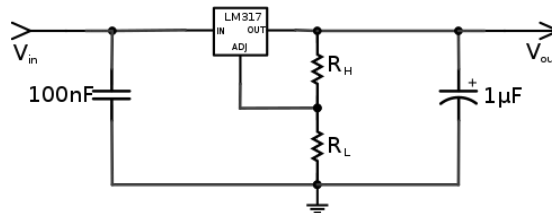
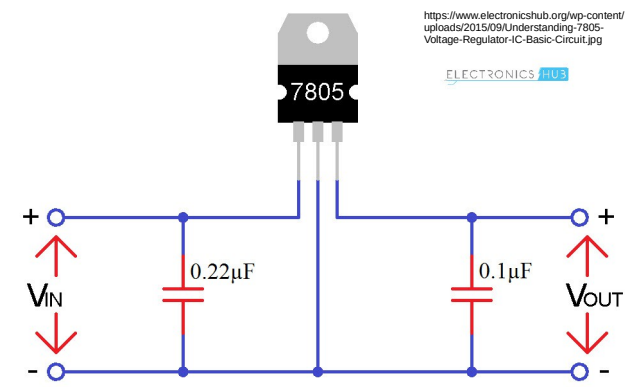
- Esim. nopeus



$$V_o = \begin{cases} 1, & \text{if } V_+ > V_- \\ 0, & \text{if } V_+ < V_- \end{cases}$$

Lineaariregulaattori

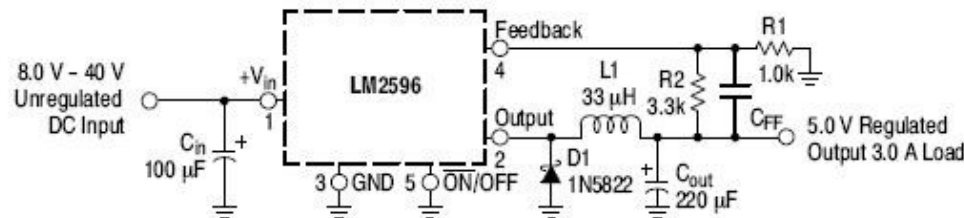
- Laskee jännitteen tunnetulle ja vakaalle tasolle
- Hävittää ”ylimääräisen jännitteen” lämmöksi
 - $P = (U_{in} - U_{out}) * I + P_Q$
 - Isoilla jännite-eroilla ja suurilla virroilla surkea hyötysuhde ja todella suuri lämmöntuotto
- Yksinkertainen kytkentä
- Low dropout (LDO) -malleissa pienempi *minimijännitteenpudotus*
 - Lineaariset ei-LDO:t melko harvinaisia nykyään (lähinnä 78xx- ja 79xx-sarjat)
- Vaativat ~aina suodatuskondensaattorit viereensä, näiden arvot tarkistettava datalehdessä
- Myös säädettäviä tyyppejä
- Ominaisuuksia:
 - Lähtöjännite, maksimi tulojännite, maksimi lähtövirta, minimi jännitteenpudotus, kohina, tulon jännitemuutosten vaimennus



$$V_{out} = V_{ref} (1 + R_L/R_H) + I_Q R_L$$

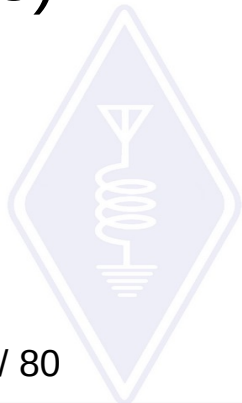
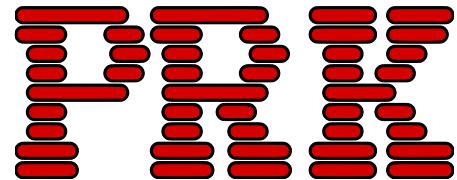
Hakkuriregulaattori

- Perustuu katkojaan, säilöö energiaa yleensä magneettikenttään
 - Monimutkaisempi kytkentä kuin lineaariregulaattorilla
 - Parempi hyötysuhde, jopa $> 95\%$, mutta pienillä virroilla saattaa olla jopa lineaariregulaattoria huonompi hyötysuhde
- Topologiasta riippuen voi myös nostaa jännitettä, invertoida jännitteen tai toteuttaa galvaanisen erotuksen
 - Yleisiä topologioita: buck, boost, buck-boost, flyback, ...
- Vaatii **aina** suodatuksen tuloon ja lähtöön
 - Katkojan nopeat nousu- ja laskuajat aiheuttavat runsaasti korkeataajuisia harmonisia taajuuskomponentteja, jotka johtumisen lisäksi myös säteilevät kytkennästä → EMI/EMC



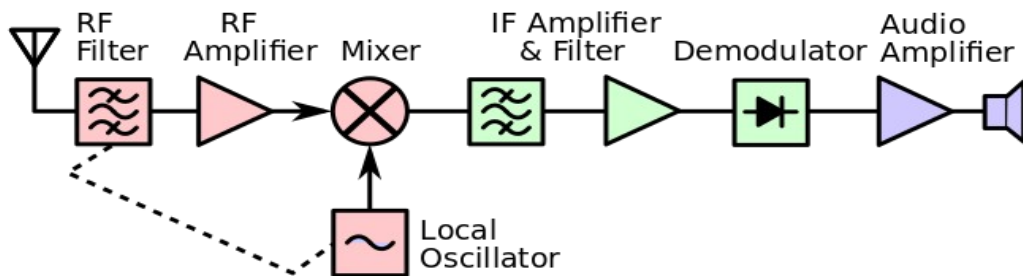
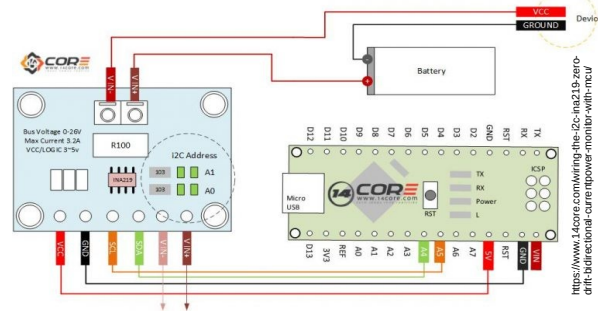
Mikropiirit, IC

- Monimutkaisempia kytkentöjä samassa kotelossa
- Mikroprosessorit, lediohjaimet, audiovahvistimet,
..., ..., ...
- Lukuisia erilaisia käyttökohteita
- Digikey: 646929 erilaista mikropiiriä (tilanne 2024-05-13)
(2023-05-09: 730801 erilaista)



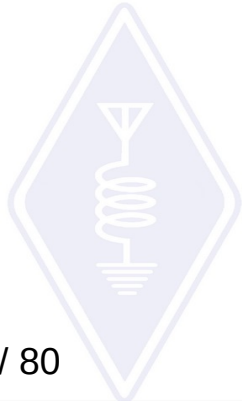
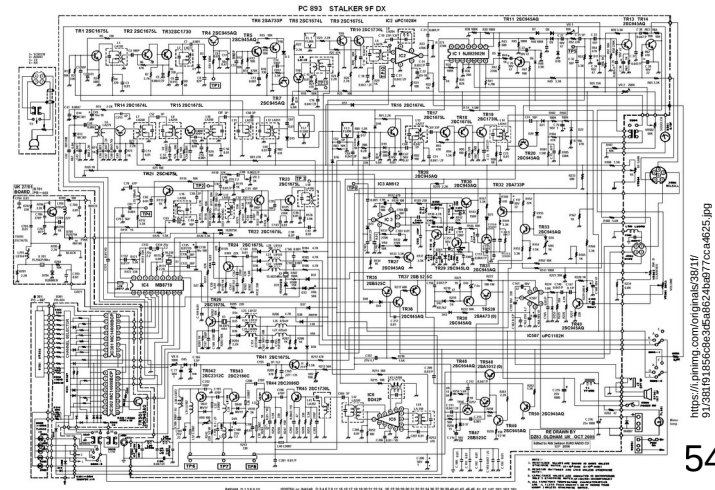
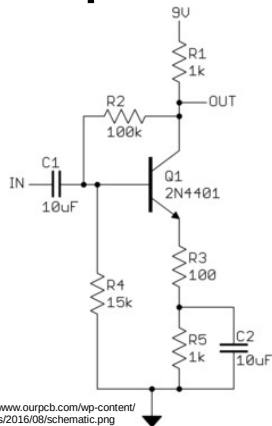
Lohkokaavio

- Korkean tason esitys piirin toiminnasta
 - Esitetään toiminta yksinkertaistettuina lohkoina
 - Voidaan esittää eri tarkkuuksilla
 - Esim. yksittäisiä avainkomponentteja mainittu
 - Myös muita vastaavia kaavioita, esim. johdotuskaavio
- Antaa nopeasti kuvan laitteen toimintaperiaatteesta ja joskus myös tärkeimmistä komponenteista



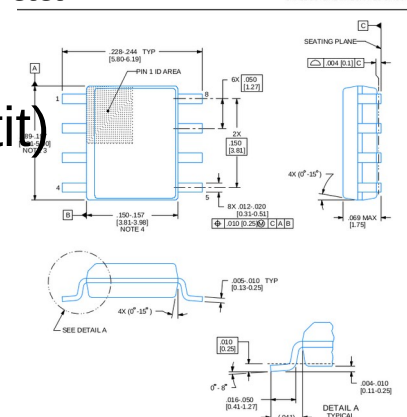
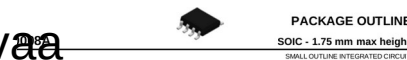
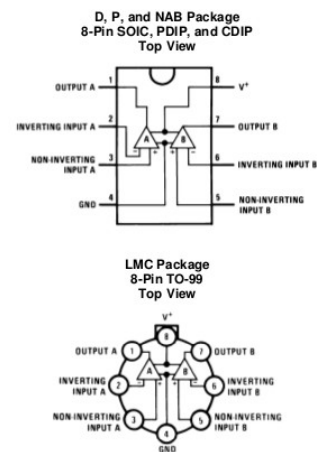
Kytkenäkaavio

- Komponenttitason esitys laitteen toiminnasta
 - Yksittäiset komponentit ja niiden väliset kytkennät
 - Komponenttiarvot joskus merkattu vain erilliseen listaan
- Voi olla jaettu osiin tai ryhmitelty esim. toiminnallisuuksittain
- Joskus merkitty myös esim. mittauspisteitä ja jännitteitä vianetsinnän helpottamiseksi



Datalehti, datasheet

- Valmistajan komponenteille antama listaus ominaisuuksista ja suoritusarvoista
 - Käyttöjännite, maksimivirta, väylätyyppi, lämpötila-alue, pinnijärjestys, fyysinen paketti ja mitat
- Integroiduilla piireillä yleensä myös referenssiokytkentöjä, rekisteritaulukoita, esimerkkikoodia
 - Laajat dokumentaatiot saattavat olla jaettuna useampaan dokumenttiin
 - Sovellusesimerkit (Application note) ovat myös usein hyvää luettavaa
- Valmistajan verkkosivuilta, komponenttimyyjän tuotesivulta, suosikkihakukoneella, paperikirjana (vanhemmat komponentit)



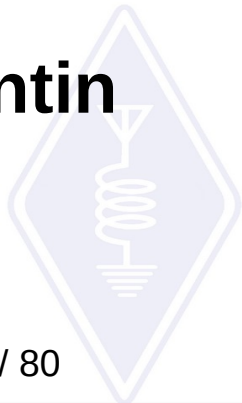
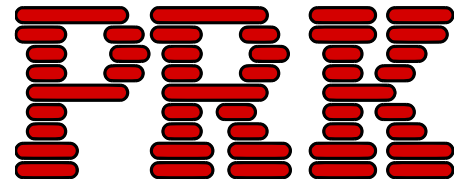
$V^+ = +5.0\text{ V}$, See ⁽¹⁾, unless otherwise stated

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM158A			LM358A			LM158, LM258			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	See ⁽²⁾ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	1	2		2	3		2	5		mV
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CM} = 0\text{ V}$, ⁽³⁾	20	50		45	100		45	150		nA
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	2	10		5	30		3	30		nA
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30\text{ V}$, ⁽⁴⁾ (LM2904, $V^+ = 26\text{ V}$), $T_A = 25^\circ\text{C}$	0	$V^+ - 1.5$		0	$V^+ - 1.5$		0	$V^+ - 1.5$		V

TTL: LM358 Datasheet

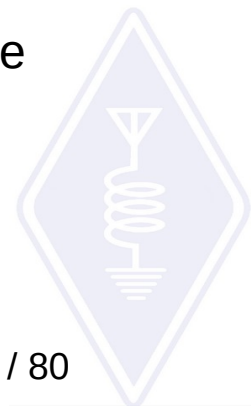
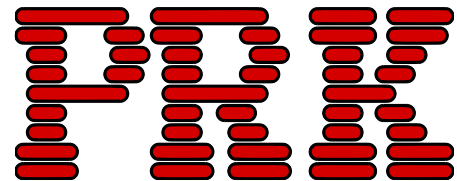
Terminaalit ja napaisuus

- Käyttöjännite ja muut signaalit kytketään yleensä oman terminaalinsa ja maaterminaalin väliin
 - Käytännössä yleensä esim. komponentin tai moduulin pinnejä
- Signaali tarvitsee aina myös paluujohtimen, esim. maa
- **Väärä napaisuus ja ylijännite rikkovat komponentin lähes aina!**



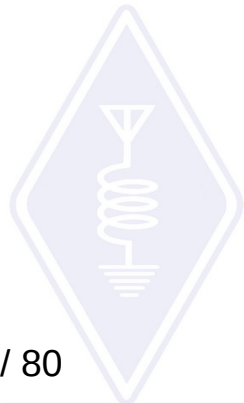
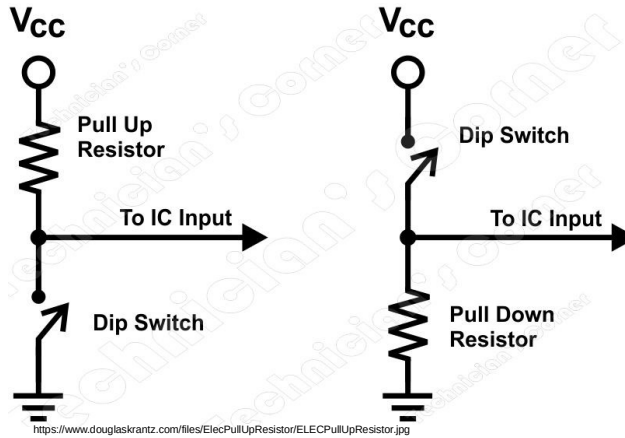
Kelluva terminaal

- Nollataso/LOW määritelty yleensä nimellisesti maahan, suuruusluokkaa 0 V ... 1,5 V
- Ykköstaso/HIGH määritelty yleensä nimellisesti käyttöjännitteeseen, suuruusluokkaa 3 V ... 5 V (kun $V_{CC} = 5\text{ V}$)
 - Vanhemmissa puolijohteissa voi olla esim. 4,5 V ... 5 V
- LOW- ja HIGH-alueiden välissä oleva tila on määrittelemätön
- Jos terminaal ei syötä tai kuluta virtaa, sitä kutsutaan kelluvaksi
 - Kelluvan terminaalin jännite riippuu vahvasti ulkoisista häiriöistä ja vaihtelee satunnaisesti
 - Aiheuttaa piiriin sekavaa ja epämääräistä käyttäytymistä

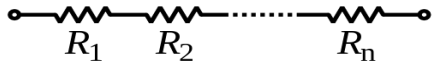


Ylös veto/pull-up, alas veto/pull-down

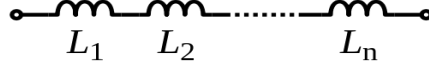
- Kelluvalle terminaalille pitää yleensä määrittää ”oletustila”
- Terminaali kytketään suurehkolla vastuksella yleensä maahan tai käyttöjännitteeseen
 - Vastuksen arvo ei yleensä kovin tarkka: $10\text{ k}\Omega \dots 330\text{ k}\Omega$
- Pull-up jos kytketty käyttöjännitteeseen, pull-down jos kytketty maahan



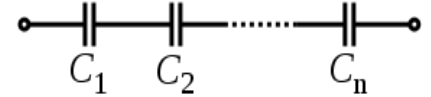
Passiivikomponenttien rinnan- ja sarjaankytkentä



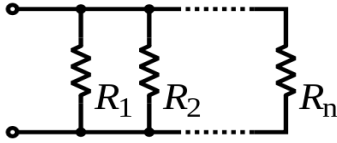
$$R_{\text{eq}} = R_1 + R_2 + \cdots + R_n.$$



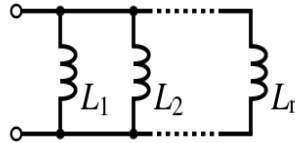
$$L_{\text{eq}} = L_1 + L_2 + \cdots + L_n$$



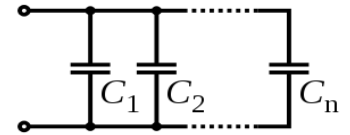
$$\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \sum_i \frac{1}{C_i} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_n}$$



$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}.$$



$$\frac{1}{L_{\text{eq}}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \cdots + \frac{1}{L_n}$$



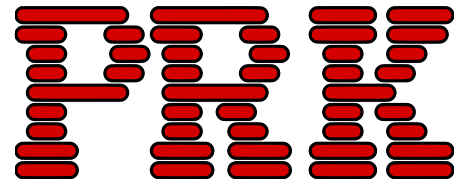
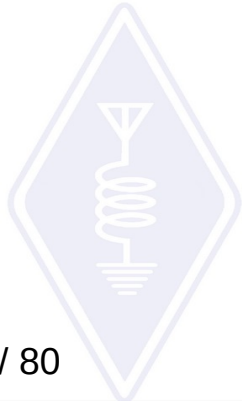
$$C_{\text{eq}} = \sum_i C_i = C_1 + C_2 + \cdots + C_n$$

<https://en.wikipedia.org/wiki/Resistor>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Inductor>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Capacitor>

$$R_{\text{total}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

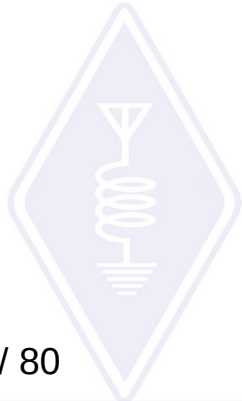
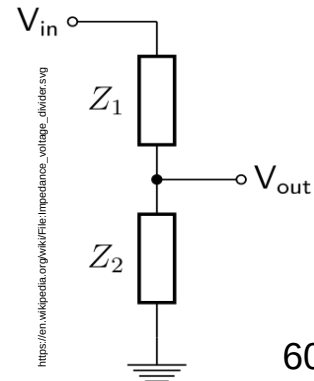


Jännitteenjakokytkentä

- Lähtöjännite impedanssien suhteessa tulojännitteeseen
- Yleensä käytetään vain vastuksia
 - Joskus kytkennän ”lähdössä” myös kondensaattori suodattamassa signaalia
 - Potentiometrillä/trimmerillä saadaan säädettävä jännitteenjako
 - LDR/NTC/PTC yleensä osana jännitteenjakokytkentää
- Käyttötarkoituksia:
 - Korkean jännitteen/käyttöjännitteen mittaaminen, esijännitys, logiikkatasojen sovittaminen, ...

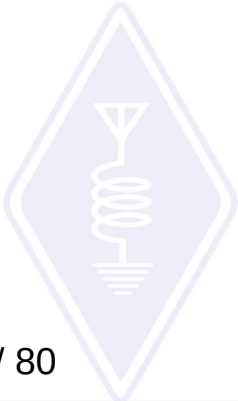
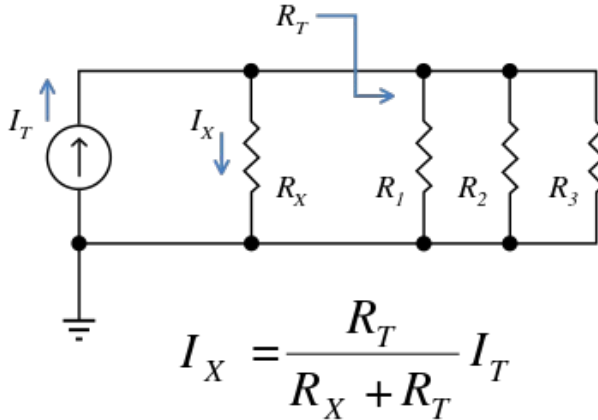
$$V_{\text{out}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{\text{in}}$$

$$V_{\text{out}} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \cdot V_{\text{in}}$$



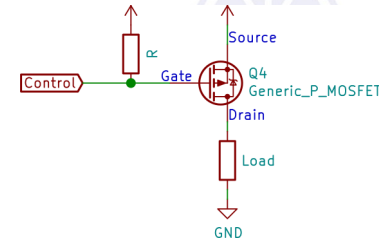
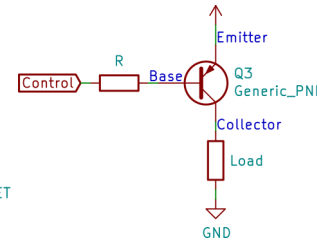
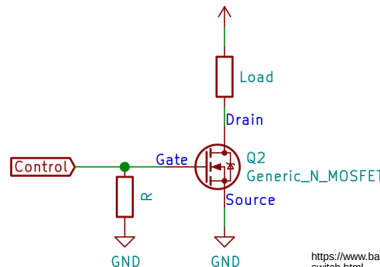
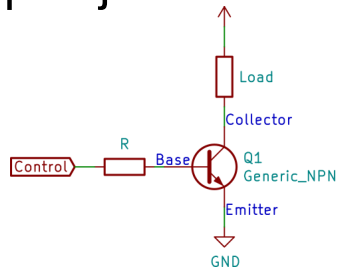
Virranjakokytkentä

- Kokonaisvirran jakautuminen eri haarojen välillä
- Käyttötarkoituksia:
 - Virran mittauksessa, virtamittarin shunttivastuksena, rinnankytkentöjen tehonkeston mitoituksessa/parantamisessa

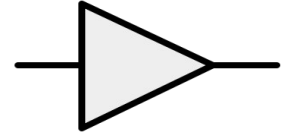


Transistori kytkimenä

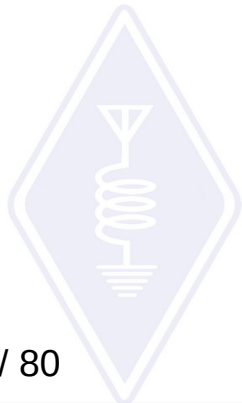
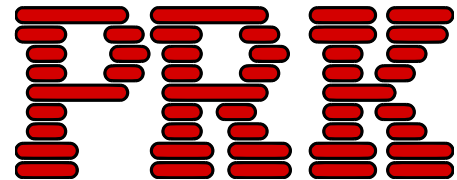
- Jännitteellä tai pienellä virralla ohjataan suurempaa virtaa tai jännitettä
- N-tyyppin transistorilla kytkin kuorman ja maan välissä (low side switching)
- P-tyyppin transistorilla kytkin on käyttöjännitteen ja kuorman välissä (high side switching)
 - Kytkentä pysyy maadoitettuna vaikka ohjaus poistettaisiin
 - Voidaan toteuttaa myös N-tyyppin transistorilla, mutta vaatii erillisen korkeamman ohjausjännitteen, myös erillisiä ohjainpiirejä olemassa tähän tarkoitukseen
- Hilalla alas-/ylösvetovastus ($\sim 10\text{ k}\Omega - 330\text{ k}\Omega$, yleensä ei kovin tarkka, kelluva terminaali)
 - Kannalla kantavastus (rajoittaa kantavirtaa), mitoituksessa mm. h_{FE} , I_{Cmax} , P_{max}
- Myös erillisiä kytkinpiirejä olemassa



Vahvistin

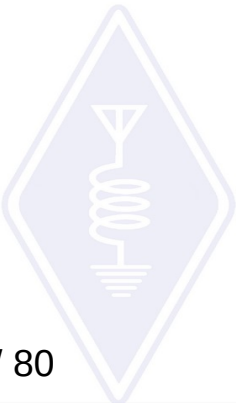
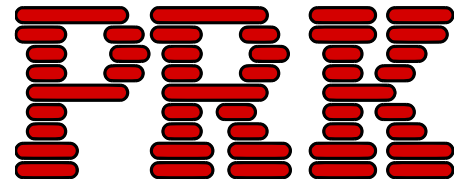


- Vahvistaa tulosignaalin suurempitehoiseksi
- Toteutetaan aktiivikomponentilla
 - BJT, MOSFET, JFET, (elektroniputki, ...)
 - Vaatii ulkoisen tehonsyötön
 - Myös integroituja vahvistimia, esim. operaatiovahvistimet, audiovahvistimet, ...
- Jännite-, virta- tai tehovahvistus
 - Suure lineaarinen tai logaritminen (desibelit)
- Usein negatiivinen takaisinkytkentä
 - Parantaa kaistanleveyttä, säröä ja rajoittaa vahvistusta

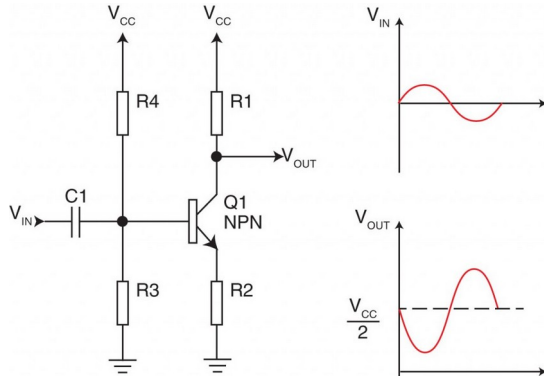


Vahvistin

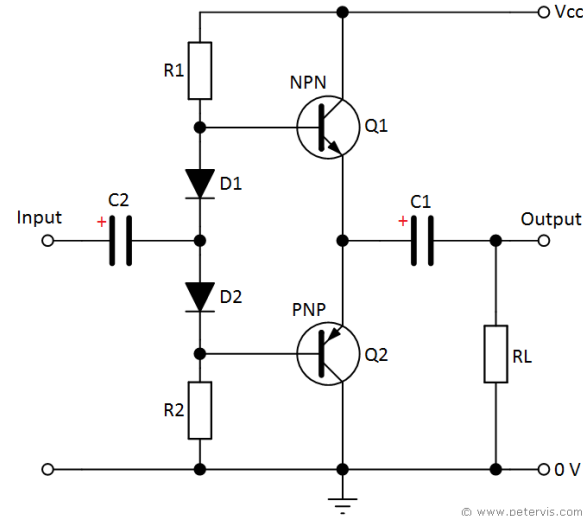
- Ominaisuuksia:
 - Tehovahvistus (dB), jännitevahvistus, virtavahvistus
 - Taajuus, kaistanleveys
 - Tulo- ja lähtöimpedanssi
 - Maksimi tulo- ja lähtöteho, maksimi hukkateho
 - Käyttölämpötila-alue, lämpötilariippuvuus
 - Särö, lineaarisuus, esijännitys (bias)
 - Kohinaluku
 - Hyötysuhde, tehonkulutus



Transistori vahvistimena

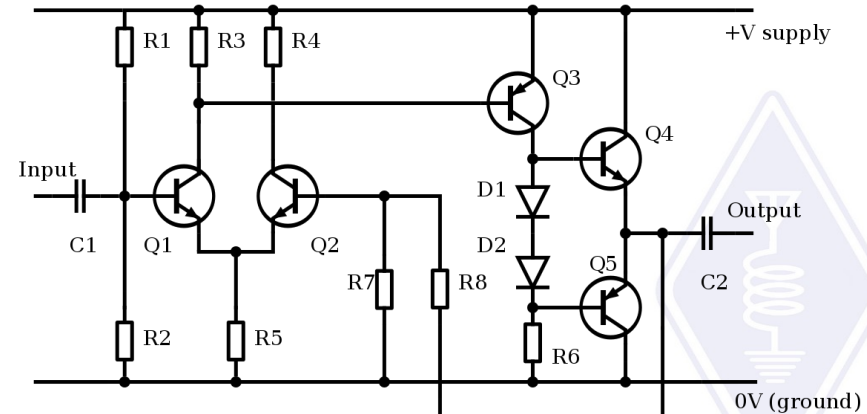


<https://circuitcellar.com/wp-content/uploads/2013/12/Figure-1-Class-A.jpg>



https://www.petervis.com/GCSE_Design_and_Technology_Electronic_Products/push-pull-amplifier/push-pull-amplifier-bias-calculator.html

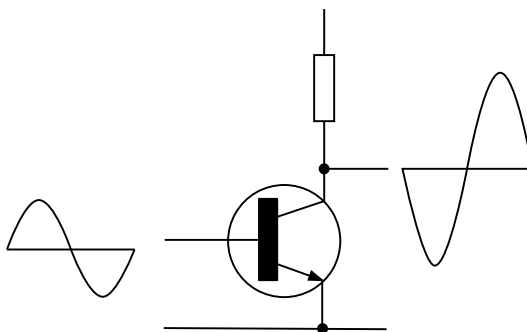
© www.petervis.com



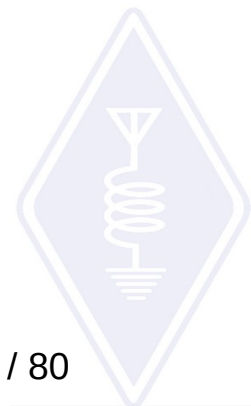
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Amplifier_Circuit_Small.svg

A-luokka

- Transistori johtaa koko jakson ajan
- Lineaarisin vahvistinluokka, vähiten säröä
- Peruskytkennöillä hyötysuhde korkeintaan 25%, erityisratkaisuilla korkeintaan 50%

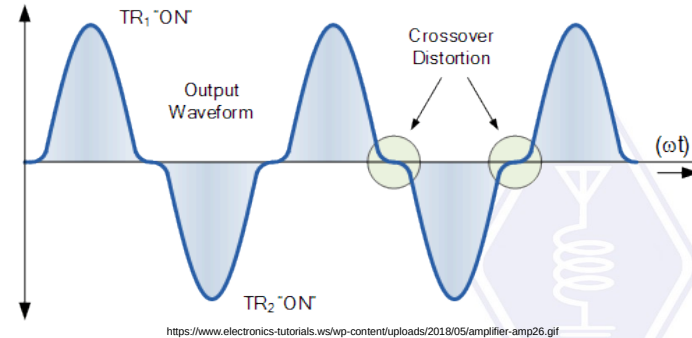
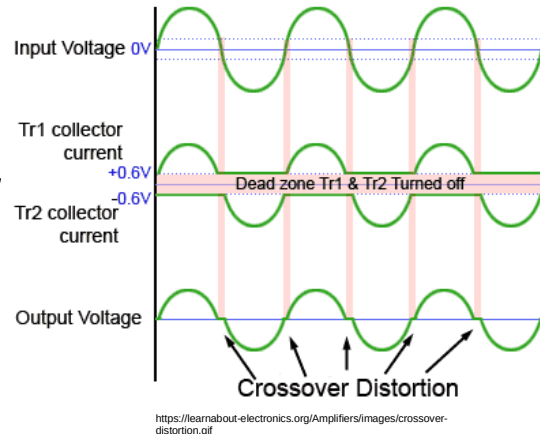
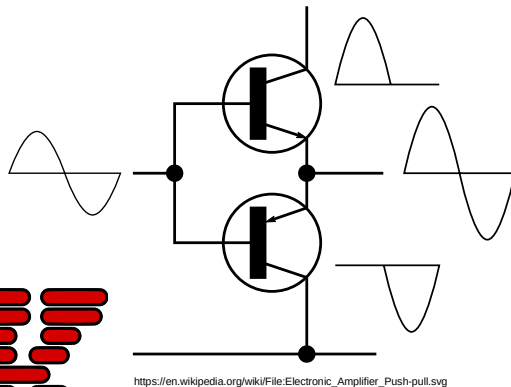


https://en.wikipedia.org/wiki/File:Electronic_Amplifier_Class_A.svg



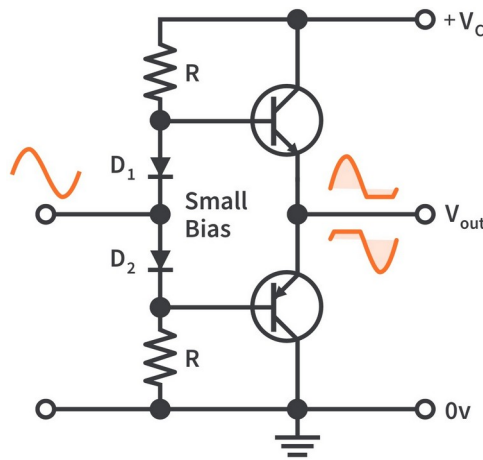
B-luokka

- Transistori johtaa puolen jakson ajan
 - Käytetään kahden transistorin kytkentää
- "Nollakohdan" ylityksestä ylimenosäröä
- Hyötysuhde korkeintaan $\pi/4$ (78,5%)

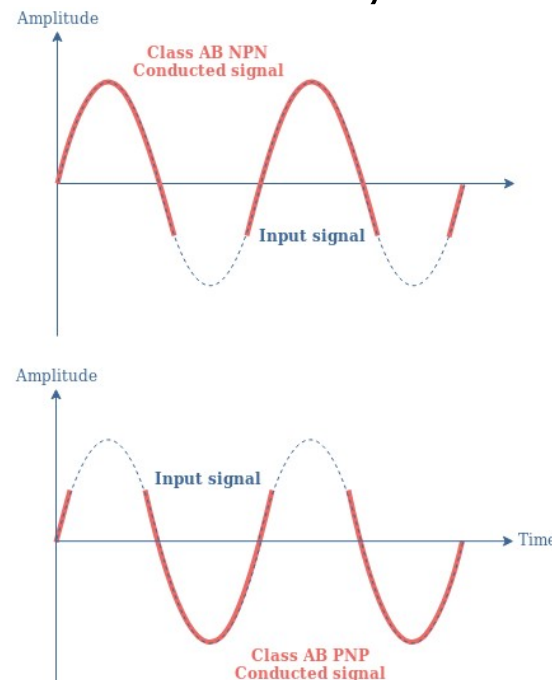


AB-luokka

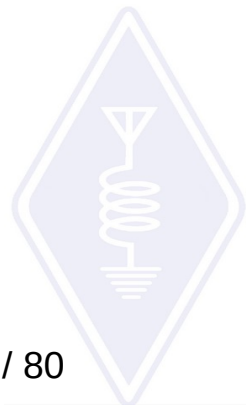
- Transistori johtaa hieman yli puolen jakson ajan
 - Kompromissi A- ja B-luokkien välillä
- Hyötysuhde huonompi kuin B-luokassa, mutta yleensä paljon A-luokkaa parempi
- Ei tuota ylimenosäröä



https://dwma4bz18k1bd.cloudfront.net/tutorials/Class-AB-Amplifier-Circuit_2021-03-10-171010.jpg

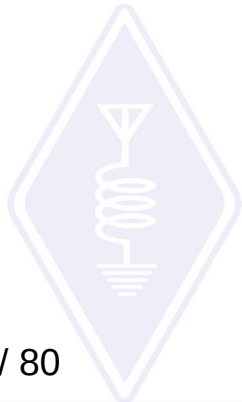
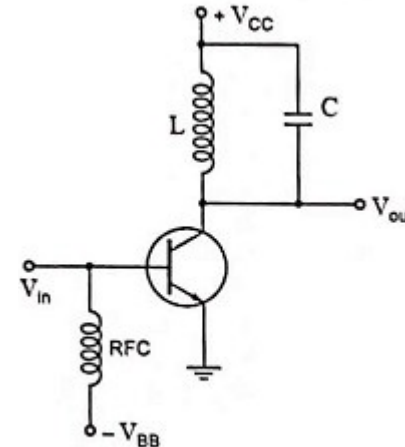


<https://www.electronics-lab.com/wp-content/uploads/2019/09/Class-AB2-1.png>



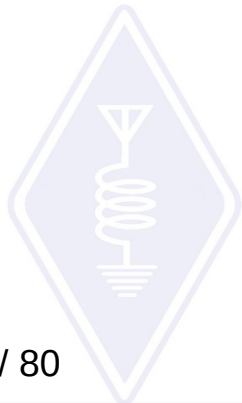
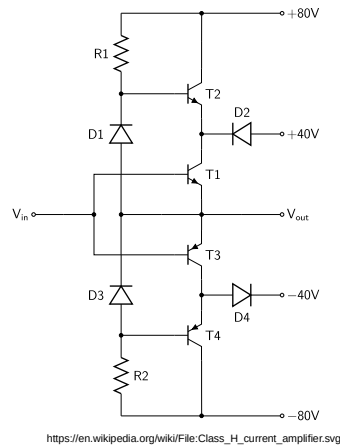
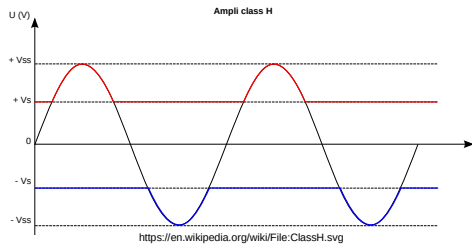
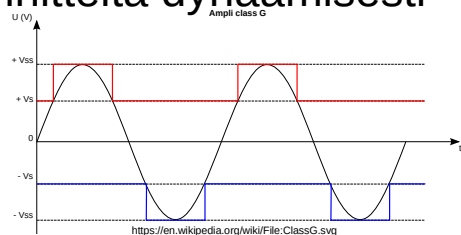
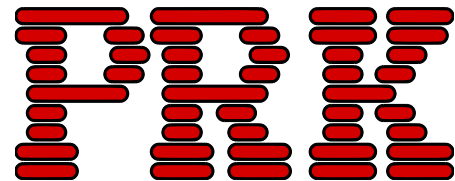
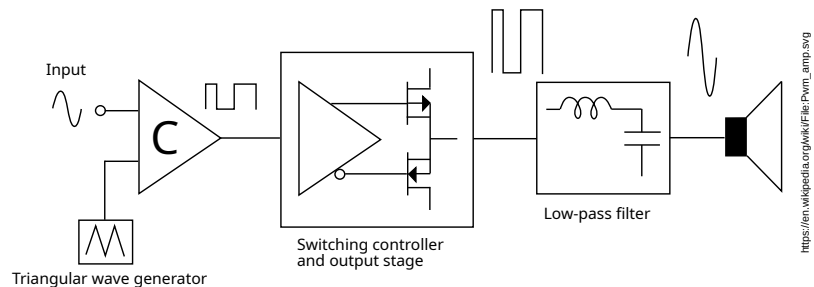
C-luokka

- Transistori johtaa alle puolen jakson ajan
- Runsaasti korkeampia harmonisia taajuuskomponentteja
 - Vaatii tehokkaan alipäästösuodattimen jälkeensä
- Hyötysuhde jopa 80%
- Epälineaarinen → Vain vakioamplitudisille modulaatioille (esim. CW, FM, PSK)
- Runsaiden harmonisten takia hyvä taajuuskertojiin



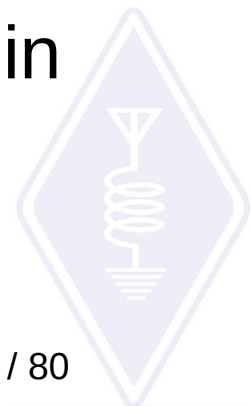
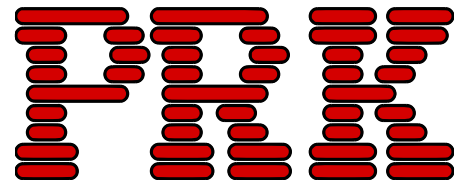
Muut vahvistinluokat

- D-luokka
 - ”Digitaalivahvistin”, tulosignaali moduloi PWM-signaalia, joka vahvistetaan kytkimillä ja alipäästetään
 - Parempi hyötysuhde
 - Lähinnä audiokäytössä
- E- ja F-luokat
 - Kuormaan sovitettu kytkevä RF-vahvistin, kytkee vain virran nollakohdassa
- G- ja H-luokat
 - Hyötysuhteen parantaminen säätämällä käyttöjännitteitä dynaamisesti



Integroidut vahvistimet

- Vahvistinkytkentä integroituna yhdeksi komponentiksi
 - Vaatii usein muutamia oheiskomponentteja, esim. ”isoja” kondensaattoreita, takaisinkytkennän
- Eri teknologioita käyttötarkoituksen mukaan
 - JFET, BJT, MMIC, ...
- Piirin komponentit sovitettu toisiinsa usein paremmin kuin erilliskomponenteista tehtynä

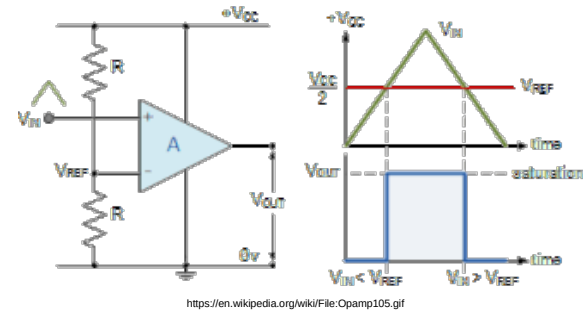


Operaatiovahvistinkennät

- Komparaattori

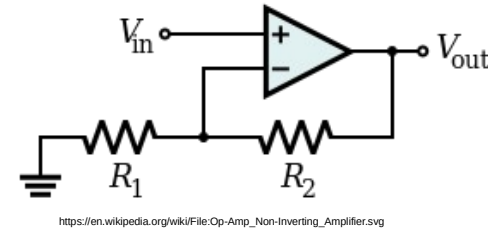
- Ei takaisinkytkentää
- Ei optimaalinen

$$V_o = \begin{cases} 1, & \text{if } V_+ > V_- \\ 0, & \text{if } V_+ < V_- \end{cases}$$



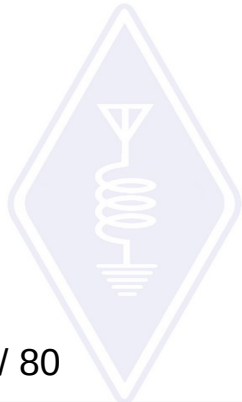
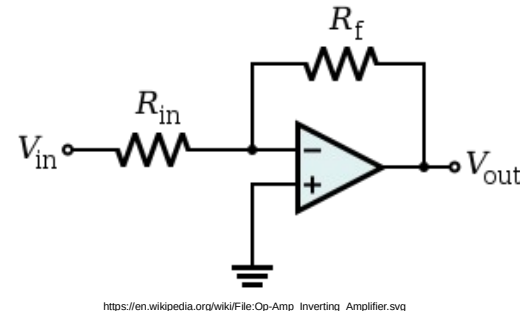
- Ei-invertoiva vahvistin

$$V_{out} = V_{in} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$



- Invertoiva vahvistin

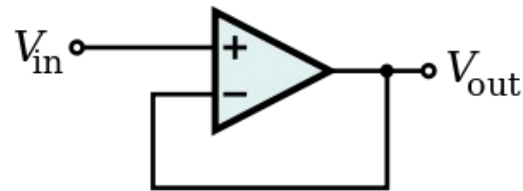
$$V_{out} = -V_{in} (R_f / R_{in})$$



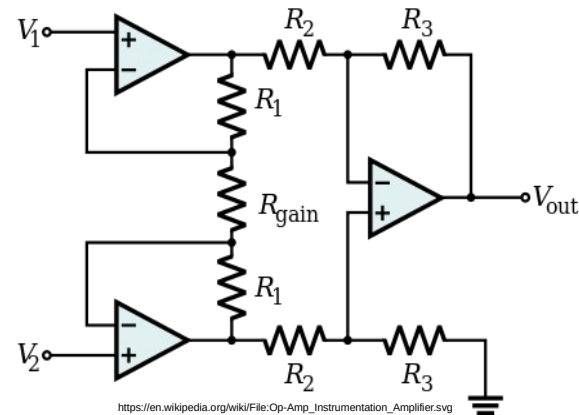
Operaatiovahvistinkytkennot

- Puskurivahvistin/jänniteseuraaja
 - Vahvistus = 1
- Instrumentaatiovahvistin
 - Myös valmiina komponenttina

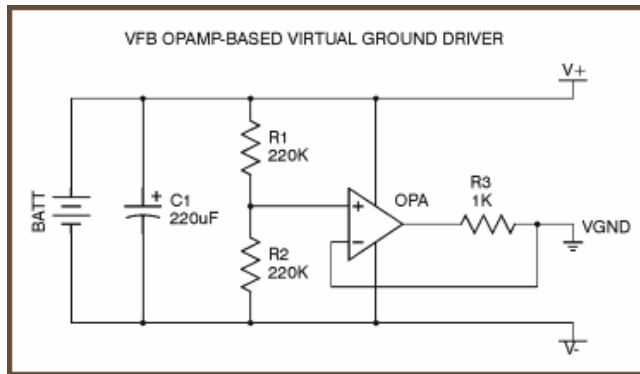
- Virtuaalimaa



https://en.wikipedia.org/wiki/File:Op-Amp_Unity-Gain_Buffer.svg



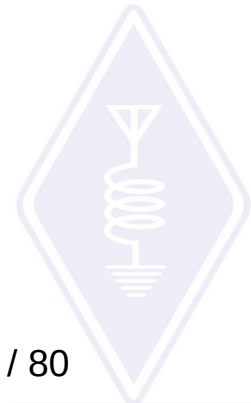
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Op-Amp_Instrumentation_Amplifier.svg



<https://tangentsoft.net/elec/vgrounds.html>

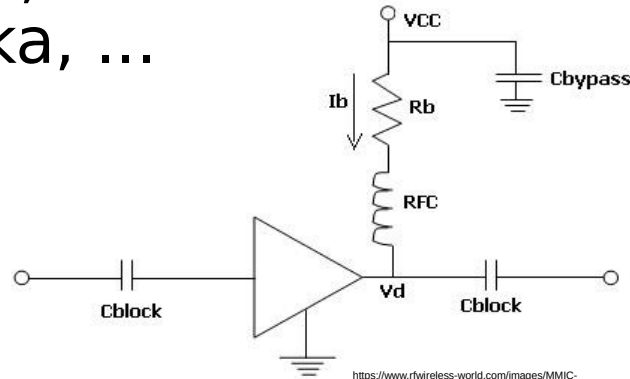
Lisää käytännön kytkentöjä:

https://en.wikipedia.org/wiki/Operational_amplifier_applications 73 / 80

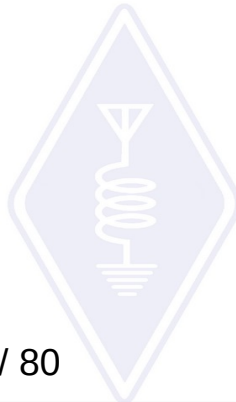


MMIC

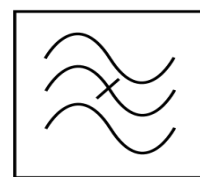
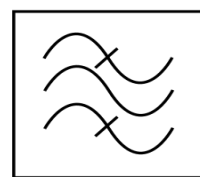
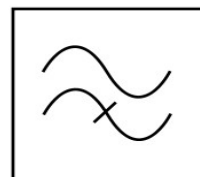
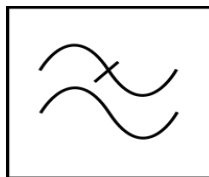
- Monolithic Microwave Integrated Circuit
- RF- ja mikroaaltotaajuuksilla toimiva integroitu vahvistin
 - Tulo ja lähtö usein sovitettu $50\ \Omega$ impedanssiin
 - Optimoituja eri ominaisuuksien suhteen, esim. taajuusalue, vahvistus, maksimi lähtöteho, kohinaluku, dynamiikka, ...
- Edullisia



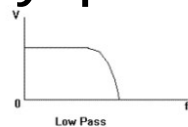
<https://www.rfwireless-world.com/images/MMIC-bias.jpg>



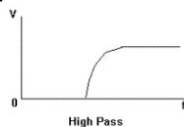
Suodattimet



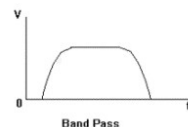
- Muokkaavat signaalin taajuussisältöä vaimentamalla osaa läpäisevistä taajuuksista
 - Päästökaista, estokaista
 - Kulmataajuus, asteluku/jyrkkyys
 - Erilaisia mitoitusperusteita (Butterworth, Bessel, ...)
- Passiivisia ja aktiivisia
- Alipäästö, ylipäästö, kaistanpäästö, kaistanesto



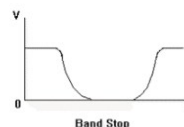
Low Pass



High Pass

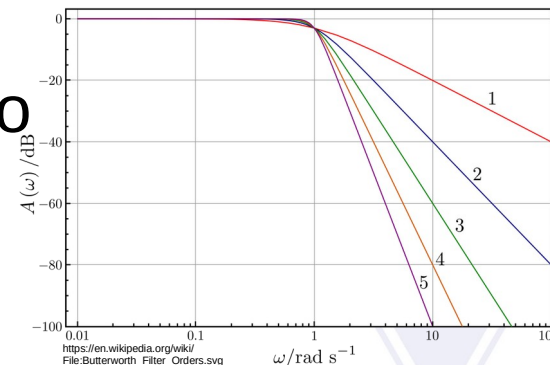


Band Pass



Band Stop

<https://66.media.tumblr.com/rtr76eeb18710567e4df65de4eca900463997e4c276e-c3/90b58c1b654680832aedc2.giv>

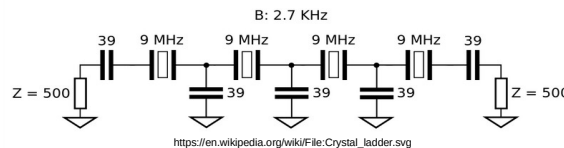


Passiiviset suodattimet

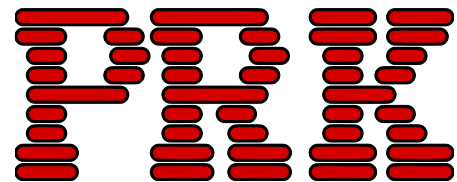
- Koostuu vastuksista, kondensattoreista ja keloista tai niihin verrattavista rakenteista
 - Esim. kiteet, resonaattorit, mikroliuskarakenteet
 - Ei vaadi erillistä tehonsyöttöä

$$f_c = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi RC},$$

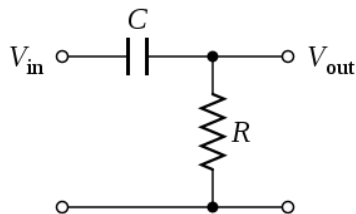
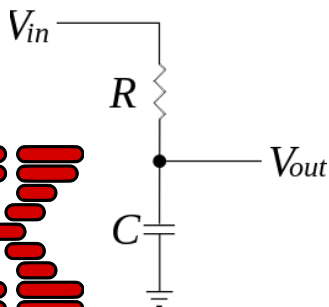
$$\omega_c = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{RC}$$



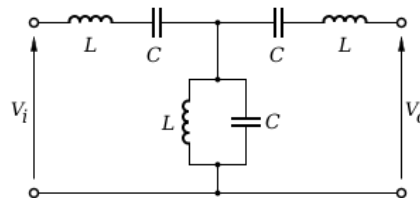
<https://www.rti-sdr.com/homemade-ads-b-filter/>



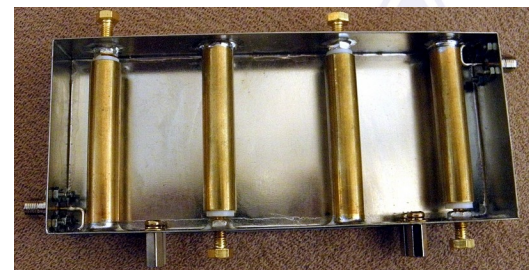
https://en.wikipedia.org/wiki/File:RC_Divider.svg



https://en.wikipedia.org/wiki/File:High_pass_filter.svg



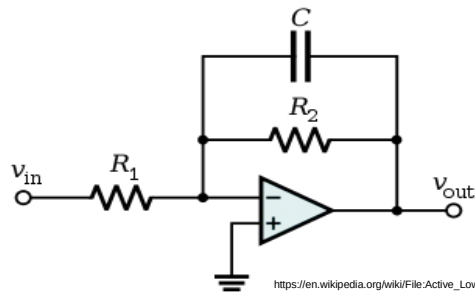
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Bandpass_Filter.svg



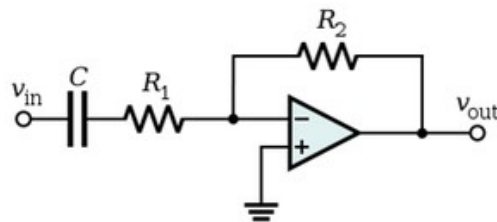
http://www.ok2kkw.com/00000104/preselector/bpt_23cm.htm

Aktiiviset suodattimet

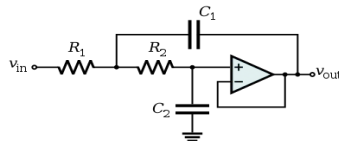
- Sisältävät passiivisten osien lisäksi jonkun vahvistavan komponentin, yleensä operaatiovahvistimen
 - Vaativat erillisen tehonsyötön
- Lähinnä audio- (ja video-) taajuuksilla
- Päästökaistan vahvistus voi olla yli 1



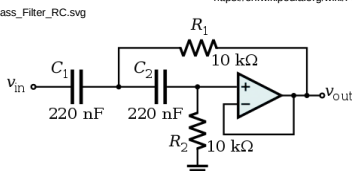
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Active_Lowpass_Filter_RC.svg



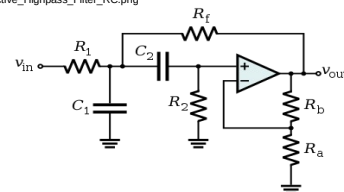
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Active_Highpass_Filter_RC.png



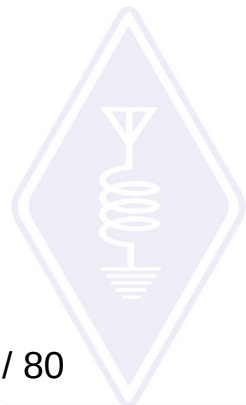
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Sallen-Key_Lowpass_Example.svg



https://en.wikipedia.org/wiki/File:Sallen-Key_Highpass_Example.svg

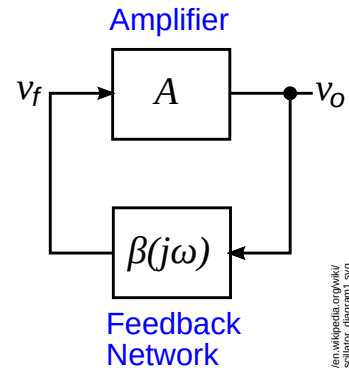


<https://en.wikipedia.org/wiki/>

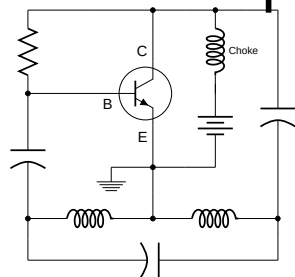
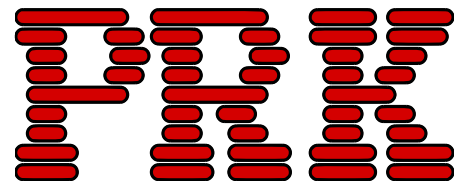


Oskillaattori

- Tuottaa tietyn taajuista vaihtovirtaa, eli signaalia
- Taajuus riippuu värähtelypiiristä
 - RC, LC, kide, jne
 - Eri topologioita, esim. Colpitts, Hartley, Pierce, ...
 - Voi olla myös säädettävä (esim. VCO)
- Eri aaltomuotoja, yleensä sini- tai kanttiaalto, tai näiden muunnelmia
- Usein kytkennässä positiivisesti takaisinkytketty vahvistin

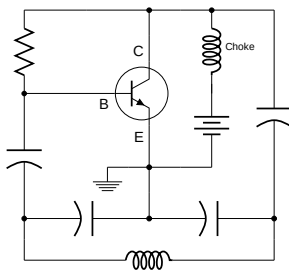


https://en.wikipedia.org/wiki/File:Oscillator_diagram.svg

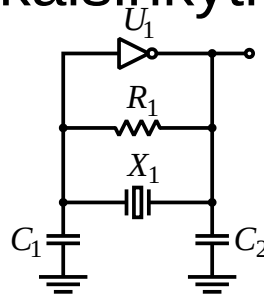


Hartley oscillator

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Oscillator_comparison.svg



Colpitts oscillator

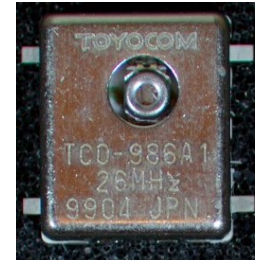


https://en.wikipedia.org/wiki/File:Pierce_oscillator.svg

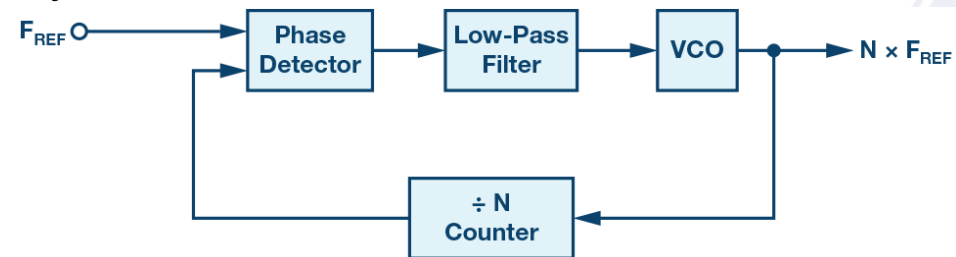
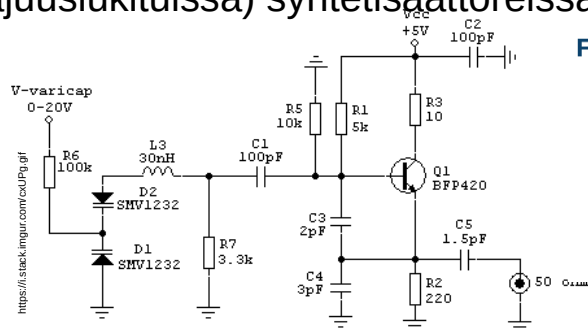


Oskillaattoryyppejä

- LC-oskillaattori
 - LC-resonanssiipiiri, lähtötaajuutena resonanssitaajuus
 - Taajuus ei yhtä vakaa kuin kideoskillaattorissa
 - Helppo tehdä taajuudeltaan säädettäväksi
- Kideoskillaattori
 - Vakaa taajuus, riippuu kiteen taajuudesta
 - Myös valmiina komponentteina
- Jänniteohjattu oskillaattori (VCO)
 - Usein LC-oskillaattori, jossa varaktoreilla toteutettu jännitteellä säädettävä kondensaattori
 - (Vaihe-/taajuuslukituissa) syntetisaattoreissa yleinen



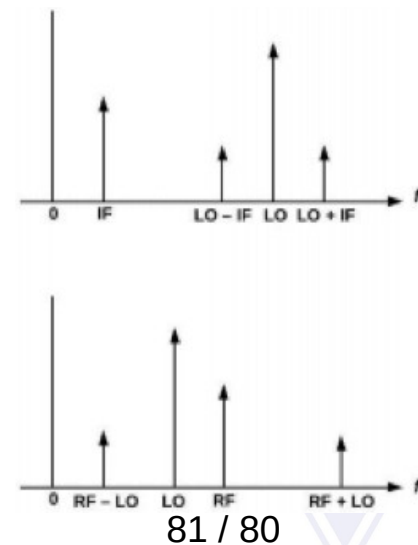
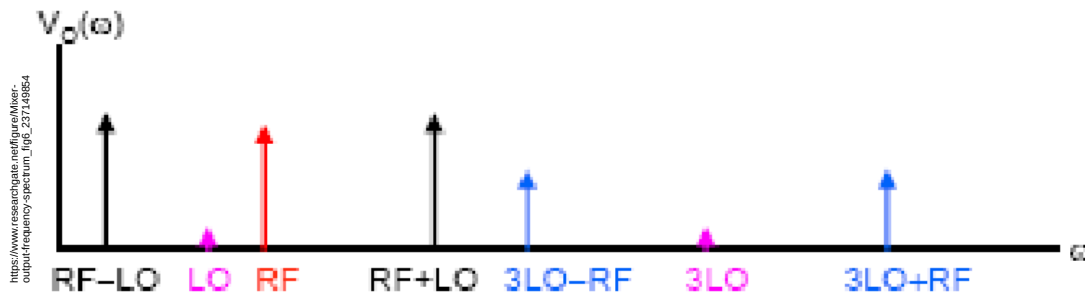
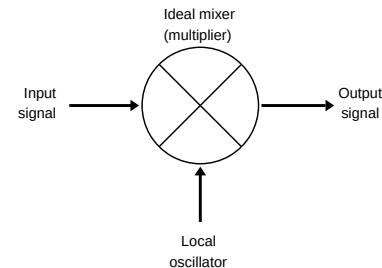
https://en.wikipedia.org/wiki/File:SMD_Cystal_Oscillator_TCXO.png



<https://www.analog.com/en/resources/analog-dialogue/articles/phase-locked-loop-pll-fundamentals.html>

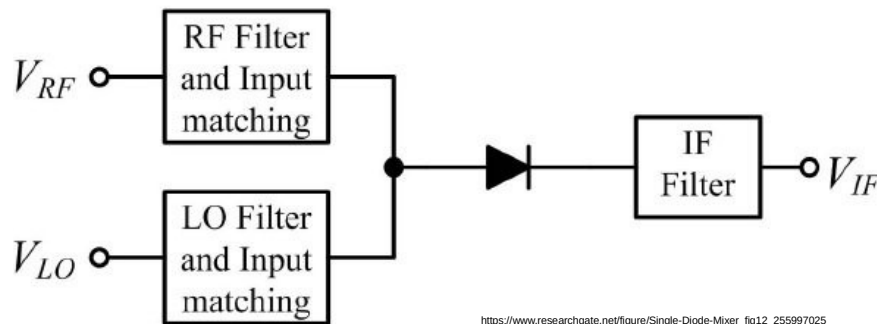
Sekoittimet

- Kertoo kaksi signaalia keskenään
- Perustuu epälineaariseen komponenttiin
 - Yleensä diodi tai transistori
- Lähdössä tulosignaalien summa ja erotus
 - Myös korkeampien harmonisten taajuuksien summia ja erotuksia
- Sekoitinta käytetään ”siirtämään” radiotaajuinen signaali välitaajuudelle tai toisin päin
 - ”Apusignaalia” kutsutaan yleensä paikallisoskillaattoriksi

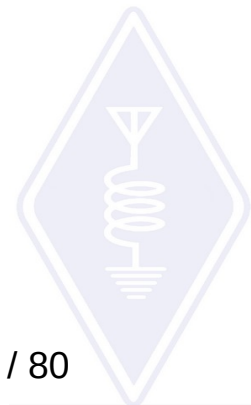


Balansoimaton sekoitin

- Diodi tai muu epälineaarinen komponentti
- Läpäisee syötettävät signaalit juurikaan vaimentumatta
 - Voidaan suodattaa erikseen
- Melko yleinen mikroaalloilla
 - Diodi helpompi valmistaa toimimaan korkeilla taajuuksilla kuin transistori



https://www.researchgate.net/figure/Single-Diode-Mixer_fig12_255997025

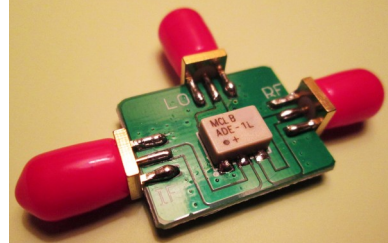


Balansoitu sekoitin

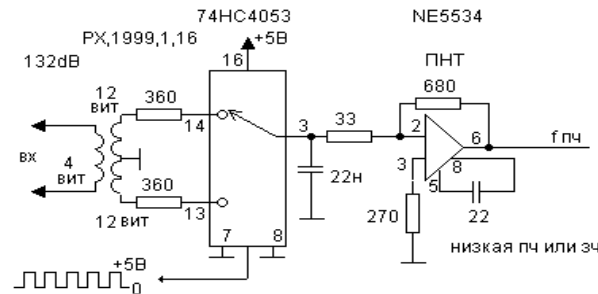
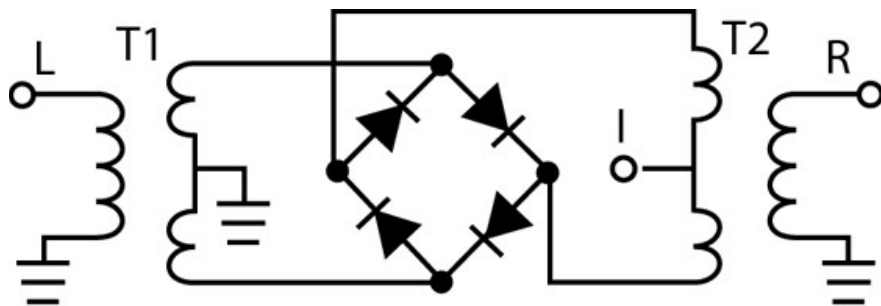
- Monimutkaisempi kytkentä
- Vaimentaa toisen syötettävän signaalin läpivuotoa
- Kaksoisbalansoitu sekoitin vaimentaa molempien syötettyjen signaalien läpivuotoa
 - Hieman häviöllisempi, mutta lineaarisempi
- Myös valmiina komponenttina



<https://d2pxk6qc9d6msd.cloudfront.net/58742.jpg>

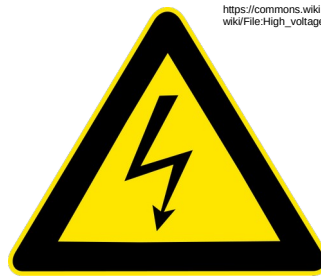


https://d3s5r33r268y59.cloudfront.net/57403/products/thumbs/2015-09-07T13:57:28.134Z-ade11_1.jpg.2560x2560_q85.jpg

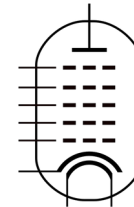
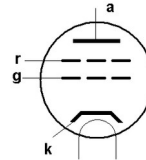
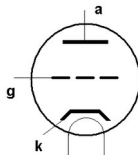
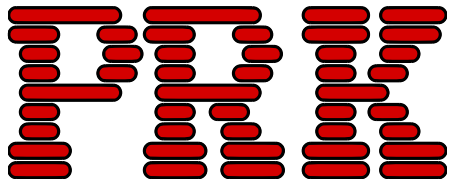


<http://www.qsl.net/va3iul>

Elektroniputki



- Hehkuelektrodi, anodi, katodi, hiloja (0–8...)
 - Diodi, triodi, tetrodi, pentodi jne
- Toimivat jänniteohjattuina vahvistimina (kuten kanavatransistorit, FETit)
 - Vaativat erillisen (matalan) hehkujännitteen, korkean anodijännitteen ja lisäksi vähintään yhden hilajännitteen
- Käyttö nykyään lähinnä suuritehoisissa päätevahvistimissa, kitaravahvistimissa ja "HiFi:ssä"



Putkivahvistin

- Virtalähteessä on oltava purkausvastus (suodatuskondensaattori)
- Antenniliittimestä runkoon on oltava suurtaajuuskuristin (Estää korkean anodijännitteen kytkeytymisen, jos "kytkentäkondensaattori pettää")
- Avainnus tehdään ohjaamalla hilajännitettä, ei katkomalla katodivirtaa
- Sovituspiirin virittämisen apuna voidaan käyttää anodivirtamittaria

