

Mittausten tekeminen

1 Pituuden mittaaminen

2 Lämpötilan mittaaminen

2.1 Yleistä

2.2 Termopari

3 Sähköiset mittaukset

3.1 Sähköiset komponentit

3.2 Yleismittari

4 Oskilloskooppi

4.1 Oskilloskoopin rakenne ja toiminta

4.2 Tärkeimmät säätimet ja niiden käyttö

4.3 Oskilloskoopin XY-asento

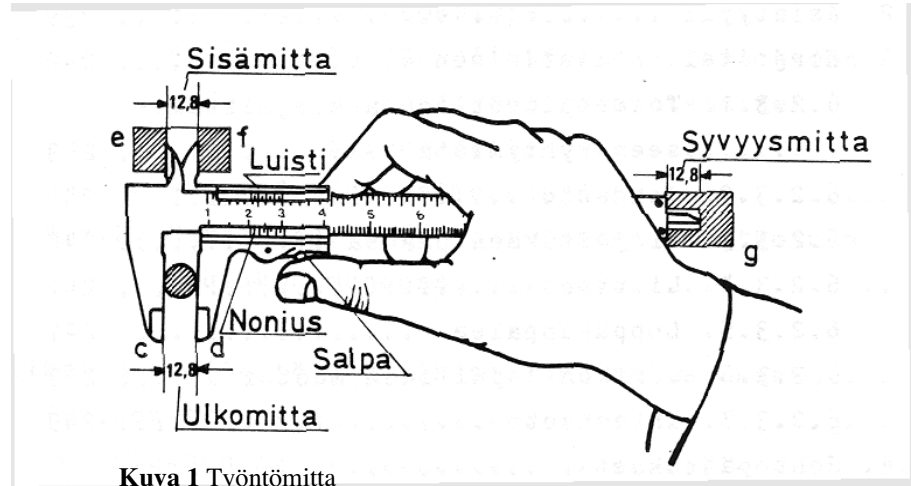
4.4 Digitaalinen oskilloskooppi

4.5 Oskilloskoopin mittausohje

1 Pituuden mittaaminen

Metrimitta

Pituuden mittaus on eräs mekaniikan perusmittauksesta. Yleisimmät mittalaitteet ovat metrimitta, työntömitta ja mikrometriruuvi. Metrimitalla voidaan mitata kätevästi pituuksia jotka ovat desimetrien luokkaa. Tarkkuus on 0.5 - 3 mm, riippuen mitattavasta pituudesta.

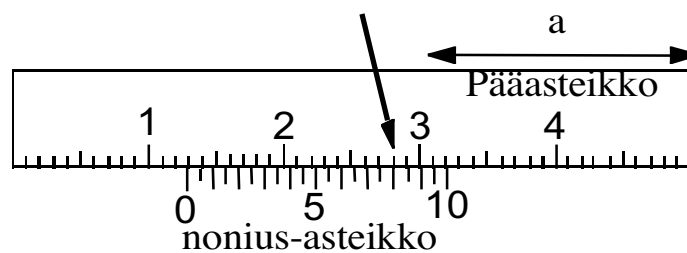


Kuva 1 Työntömitta

Työntömitta

Työntömittaa käytetään mitattaessa 15 cm lyhyempiä pituuksia. Tällöin päästään 0.05 - 0.1 mm tarkkuuteen. Kuvassa 1 esitetyssä työntömitassa leukojen c ja d avulla mitataan ulkomittoja sekä leukojen e ja f avulla sisämittoja. Kieltä käytetään syvyyden mittaukseen. Työntömitassa on tavallisesti lukituslaite (salpa), joka lukitsee leuat mittaussasemaan. Työntömitassa on lisäksi lukematarkkuutta parantava Nonius-asteikko, jota käytetään millimetrin osien lukemiseen.

Tuloksen kokonaisosa luetaan noniusasteikon nollaviivan avulla pääasteikolta. Tässä tapauksessa nollakohta on 1:n ja 2:n välissä, jolloin kokonaisosaksi tulee 12 mm. Lukematarkkuutta on parannettu nonius-asteikolla, jossa jokin pääasteikon mittaväli a (yleensä 9, 19 tai 49 mm) on noniusasteikolla jaettu n :ään osaan (10, 20 tai 50). Noniusasteikon pituus on myös a ja siinä on mittaviivoja etäisyydellä b toisistaan siten, että $a = bn \Rightarrow b = a/n$. Tuloksen desimaaliosa luetaan katsomalla, mikä noniuksen viiva yhtyy pääasteikon viivan kanssa. Tämä kertoo kuinka monta murto-osaa lukuarvoon lisätään. Lukematarkkuus on $1/n$ eli riippuen asteikosta 0.1, 0.05 tai 0.02 mm. Kuvassa 2 olevassa esimerkissä mittaustulos on $(12.80 \pm 0.05) \text{ mm}$.

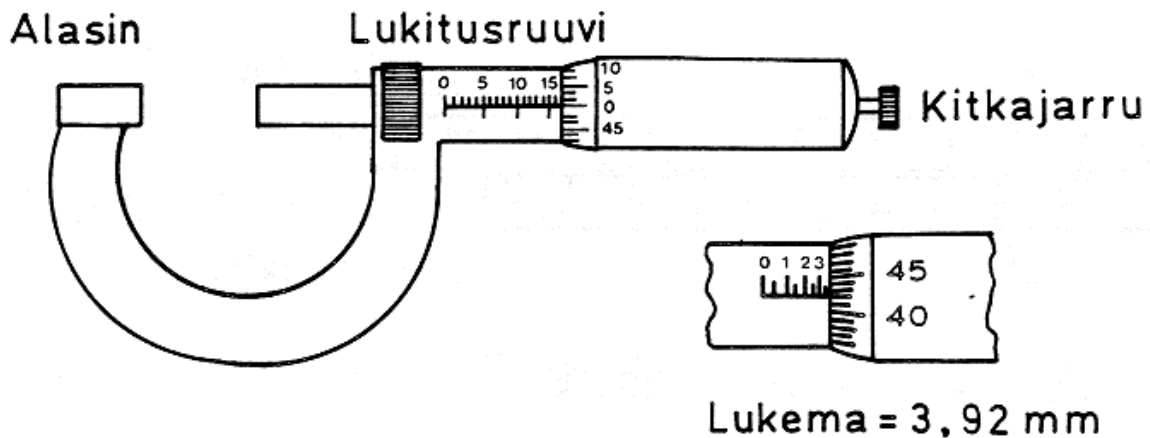


Kuva 2 Mitta ja noniusasteikko

Mikrometriruuvi

Mikrometriruuvilla voidaan mitata lyhyitä välejä noin 0.01 mm :n tarkkuudella. Laboratoriossa käytössä olevilla mikrometriruuveilla mitataan alle 20 mm etäisyyksiä, mutta mikrometriruuveja valmistetaan ainakin 200 mm mittauspituuteen asti. Kuva 3 esittää tyypillistä mikrometriruuvia. Laitteessa on kaareva runko-osa, jonka toisessa päässä on ruuvikierre ja toisessa vastakappale, alasin. Ruuvikierteen yhtä kierrosta vastaava nousu on tavallisesti joko 0.5 mm tai 1 mm . Ruuvikierteen toiseen päähän on merkitty asteikko, joka on jaettu $0 - 50$ nousun ollessa 0.5 mm tai $0 - 100$ sen ollessa 1 mm jolloin pienin jako-osa on 0.01 mm .

Mittaamaan ryhdyttäessä on aina ensin tarkistettava nollakohta ja mittaustuloksessa otettava mahdollinen nollakohtakorjaus huomioon. Ruuvia kierrettäessä on vältettävä käyttämästä liikaa voimaa, koska tämä aiheuttaa mittaustulokseen moninkertaisen voimavaikutuksen ja näin ollen eri kerroilla saadaan puristuksesta riippuen toisistaan poikkeavia tuloksia. Edelleen liian suuresta voiman käytöstä yleensä seuraa mikrometrin nollakohdan siirtyminen, jolloin tuloksen tarkkuus kärsii. Yleensä mikrometriruuvin päässä on kitkajarru, jonka avulla saadaan aina vakiopuristus mittaustulokseen. Siis loppukiristys tapahtuu kitkajarrulla, jolloin kierretään niin kauan, että kuullaan naksahdus. Myös lukitusruuvi on mitattaessa aina muistettava löysätä.



Kuva 3 Mikrometriruuvin asteikko $0,5 \text{ mm}$:n nousulla

2 Lämpötilan mittaaminen

2.1 Yleistä

Lämpötilan mittauksen oletetaan tapahtuvan tasapainotilassa. Jos lämpötila muuttuu ajan suhteen, oletetaan, että mitattaessa vallitsee hetkellinen tasapainotila. Tasapainotilaa tarvitaan jotta mittarin lämpötila olisi sama kuin mitattavan kohteen.

Lämpölaajenemiseen perustuvista lämpötilan mittausten menetelmistä yleisimmin käytetty ja tunnettu on nestelämpötilamittari. Nesteen laajeneminen vakio-paineessa voidaan kalibroida lämpötila-asteikoksi ja näin muodostaa lämpömittari. Mittausalue määräytyy käytetyn nesteen jäätymispisteen ja kiehumispisteen välille. Elohopeaa voidaan käyttäen lämpömittarissa alueella 234,3 K – 629,8 K ja alkoholia alueella 203 K – 350 K. Nestelämpömittarin tarkkuus riippuu tehdystä kalibroinnista, mutta käytännössä sen määrää käytetyn asteikon lukematarkkuus.

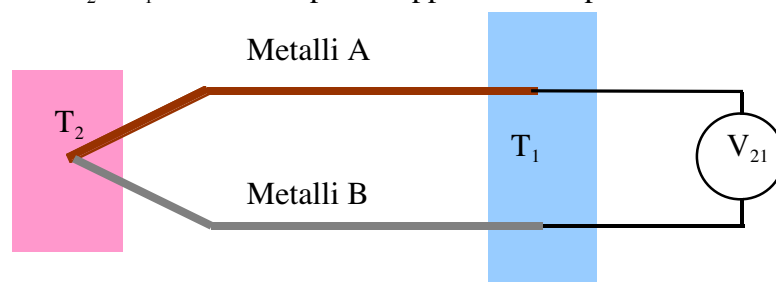
Monien aineiden sähköinen vastus on verrannollinen sen lämpötilaan. **Metallien** vastus kasvaa lämpötilan kasvaessa. Pienellä lämpötilavälillä kasvua voidaan pitää lineaarisena, mutta laajempaa aluetta tarkasteltaessa havaitaan sen riippuvan lämpötilasta neliöllisesti. Monilla puolijohdeilla resistiivisyys pienenee lämpötilan kasvaessa jollakin alueella. Tällaisista materiaaleista valmistettuja lämpötila-antureita kutsutaan **termistoreiksi**. Lämpötilan ja vastuksen välinen riippuvuus on eksponentiaalinen.

2.2 Termopari

Lämpötilaa voidaan mitata myös termoparilla kuvan 4 esittämällä tavalla. Jos kaksi eri materiaaleista (metalliseokset A ja B) valmistettua metallilankaa on liitetty yhteen toisesta päästään, johdinten vapaiden päiden välillä voidaan mitata sähkömotorinen voima, joka on verrannollinen mittauspisteessä olevan liitoksen lämpötilaan T_2 . Termoparijohtimien ja mittaussiirin liitospisteissä muodostuu myös termopari, jonka lämpötila näkyy mitattavassa jännitteessä. Tämä takia nämä liitokset näkyvät mittaustapahtumassa vertailulämpötilana (T_1), joka yleensä on mittarin kuoren lämpötila. Haluttaessa varmistua vertailulämpötilan muuttumattomuudesta, voidaan nämä liitokset voidaan tehdä esimerkiksi jään ja veden seoksessa. Näin saadaan mitattua termojännite V_{20} , joka riippuu siis metallien ominaisuuksista ja lämpötilaerosta $T_2 - T_1$.

Vaikka useilla ainepareilla esiintyykin lämpösähköinen ilmiö, käytetään laajemmalti ainoastaan muutamia pareja, joilla on omat tyyppinimensä. Näitä ovat (R-tyyppi) platina-platinarhodium, chromel (K-tyyppi) ($\text{Ni}_{90}\text{Cr}_{10}$)-alumel ($\text{Ni}_{94}\text{Mn}_3\text{Al}_2\text{Si}_1$), (T-tyyppi) kupari-konstantaani ($\text{Cu}_{57}\text{Ni}_{43}$) ja (J-tyyppi) rauta-konstantaani. Esimerkkinä termoparin käyttöalueesta mainitaan platina-platinarhodium –termoelementti, jota käytetään pääasiassa alueella 200 K – 1800 K. Kuparin hapettuminen voimakkaasti yli 650 K:ssä rajoittaa sen käyttöä korkeissa lämpötiloissa.

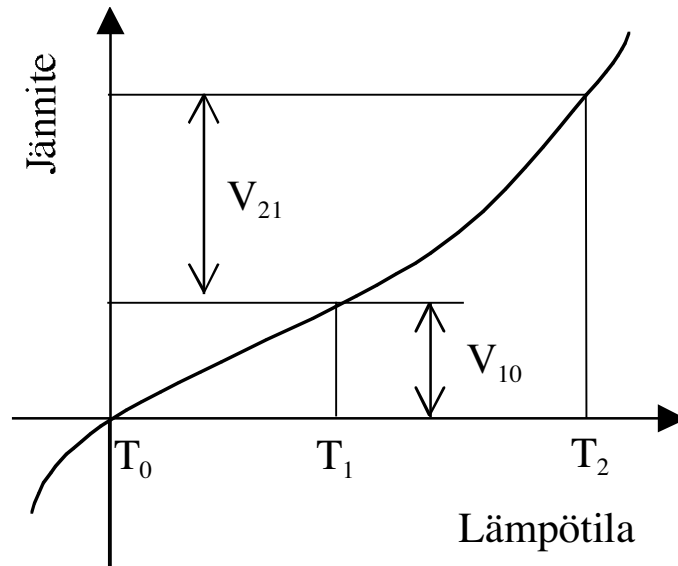
Jännitteen lämpötilariippuvuus ei yleensä ole lineaarinen, mutta se on taulukoitu eri termoparityypeille. Taulukot on yleensä laadittu niin, että peruslämpötilaksi T_0 on valittu 0 °C. Jos vertailulämpötila on esimerkiksi huoneenlämpötila (T_1), on termojännitteen V_{21} muuttamisessa lämpötilaksi T_2 huomioitava **sekä** lämpötilaero $T_1 - T_0$ huoneenlämpötilan ja taulukon peruspisteen välillä **että** lämpötilaero $T_2 - T_1$. Koska lämpötilariippuvuus on epälineaarinen muunnosta ei voi tehdä



Kuva 4 Kahden erilaisen metallin liitos tuottaa jännite-eron, jonka avulla voidaan sähköisesti mitata lämpötilaero $T_2 - T_1$.

laskemalla lämpötiloja suoraan yhteen, vaan lämpötilaerot on ensin muunnettava jännitteiksi, jotka voidaan laskea yhteen. Tätä valaistaan seuraavan esimerkin avulla:

Kuvassa 5 on esitetty erään kuvitteellisen termoparin lämpötila-termojännite-kuvaaja, jonka peruspiste on T_0, V_0 . Kuvaaja on havainnollisuuden vuoksi voimakkaasti epälineaarinen. Tehdään termojännitteen mittausta siten, että termoparin mittapää on lämpötilassa T_2 ja vapaat päät huoneenlämpötilassa T_1 , jolloin mitattava termojännite on V_{21} . Jotta V_{21} osataan oikein muuttaa lämpötilaksi T_2 , on mitattuun jännitteeseen V_{21} lisättävä huoneenlämpötilan T_1 ja referenssilämpötilan T_0 välinen termojännite, joka kuvaajasta (taulukosta) määrittäen on V_{10} . Korjattu termojännite, $V_{20} = V_{21} + V_{10}$, voidaan nyt muuttaa lämpötilaeroksi $T_2 - T_0$ kuvaajan (taulukon) avulla.



Kuva 5 Kuvitteellisen termoparin V-T-kuvaaja ja mitatun jännite-eron V_{21} muuttaminen lämpötilaksi. Vertailulämpötila, jossa $V = 0V$ on T_0 eikä ole sama kuin termoparin vapaiden päiden lämpötila T_1 . Termoparin mittapää on lämpötilassa T_2 . Jännitteen V_{21} muuttamiseksi kuvaajan avulla lämpötilaeroksi $T_2 - T_0$ siihen on lisättävä V_{10} , ja luettava jännitettä V_{20} vastaava lämpötila T_2 .

3 Sähköiset mittaukset

3.1 Sähköiset komponentit

Laboratoriotöissä on tarpeellista ymmärtää yksinkertaisia sähköisiä kytkentöjä. Tätä varten on syytä on tutustua niihin komponentteihin ja mittalaitteisiin, joiden kanssa joudutaan tekemisiin laboratoriotöissä. Samalla tutustutaan sähköisiä piirejä kuvattaessa käytettäviin piirrosmerkkeihin, joita käytetään laboratoriotöiden kytkennöistä. Tärkeimmät komponentit ovat vastus (R), kondensaattori (C) ja kela (L).

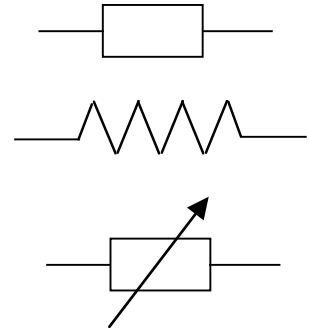
Vastus R

Vastuksen koko eli nimellisarvo R ilmoitetaan joko suoraan numeroina tai sovitulla värikoodilla. Piirrosmerkkeinä käytetään kuvassa 6 esitettyjä symboleja.

Vastuksissa käytettävä värikoodi on esitetty kuvassa 7. Esimerkkinä katsotaan vastuksen koko, kun renkaat ovat: A keltainen, B sinipunainen, C oranssi ja D kulta. Tällöin vastus on $R = 47 \cdot 10^3 \Omega \pm 5\% = 47 \text{ k}\Omega \pm 5\%$

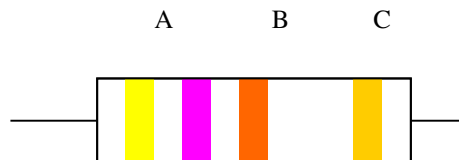
Vastusten käytössä on huomattava seuraavat tärkeimmät sähköiset ominaisuudet:

- Vastusarvo
- toleranssi
- tehonkesto
- jännitteenkesto



Kuva 6 Vastuksesta käytettyjä piirrosmerkkejä. Alinna säätövastus

renkas	A	B	C
musta	0	0	$\times 10^0$
ruskea	1	1	10^1
punainen	2	2	10^2
oranssi	3	3	10^3
keltainen	4	4	10^4
vihreä	5	5	10^5
sininen	6	6	10^6
sinipun.	7	7	
harmaa	8	8	
valkoinen	9	9	



Kuva 7 Vastusten värikoodi. D-rengas ilmaisee nimellisarvon tarkkuuden: Kulta = $\pm 5\%$, Hopea = $\pm 10\%$

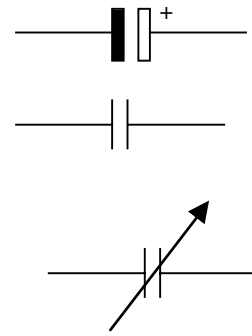
Kondensaattori (C)

Kondensaattori syntyy kahdesta eristetystä johdekappaleesta, joiden väliseen sähkökenttään varastoituu energiaa. Kondensaattorin energia on $W = \frac{1}{2}CU^2$, missä C on kondensaattorin kapasitanssi ja U jännite kondensaattorin napojen välillä. Kondensaattorien tärkeimmät ominaisuudet ovat:

- kapasitanssi
- kapasitanssin toleranssi
- taajuusalue
- jännitekesto

Kondensaattorin kapasitanssi ilmoitetaan vastaavalla värikoodilla kuin vastusten tapauksessa tai numeroilla, yksikkönä yleensä pF tai μF . Piirrosmerkit on esitetty kuvassa 8. Tavalliset kondensaattorilajit ovat:

- Paperikondensaattori, eristeenä paperi, suurikokoinen, huonot suurtaajuusominaisuudet.
- Muovikondensaattori, eristeenä polyesteri tai polystyreeni, hyvät suurtaajuusominaisuudet
- Keraaminen kondensaattori, höyrystetty Ag-kalvo keraamiselle rungolle, erinomaiset suurtaajuusominaisuudet, mikrofoninen.
- Kiillekondensaattori, eristeenä kiille, erittäin hyvät suurtaajuusominaisuudet
- Elektrolyyttikondensaattori, suuri kapasitanssi, huomioitava napaisuus
- Tantaalikondensaattori, hyvät sähköiset ominaisuudet, eristeenä tantaalipentoksidi, huomioitava napaisuus



Kuva 8 Kondensaattorin piirrosmerkit. Keskellä on elektrolyyttikondensaattori,

Kela (L)

Kelan piirrosmerkinnät ovat esitetty kuvassa 9. Kelan päiden välillä vaikuttava jännite saadaan induktanssin L ja kelassa kulkevan virran I muutoksen avulla:

$$U = -L \frac{dI}{dt}, \quad (1)$$

Induktanssin L yksikkö on Henry, $H = \text{Vs/A}$.



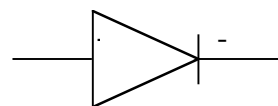
Kuva 9 Kelan ja muuntajan piirrosmerkit

Puolijohdekomponentit

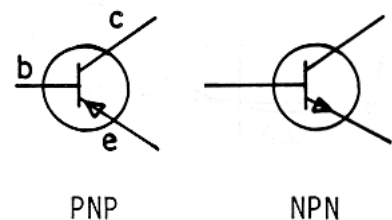
Jos neljännen pääryhmän puolijohdeeseen (Ge, Si) sekoitetaan hieman viidennen pääryhmän ainetta (P, As), syntyy N-tyyppinen puolijohde, jossa varauksen kuljettajana toimii seosaineen ”ylimääräinen” elektroni (N=negatiivinen). Vastaavasti jos sekoitetaan kolmannen pääryhmän ainetta (B, Ga, In), syntyy P-tyyppinen puolijohde, jossa varauksenkuljettajana toimii seosaineen ”puuttuva elektroni” eli elektroniaukko, jonka varaus on positiivinen (P).

Ns. PN-rajapinta syntyy liittämällä yhteen P- ja N-puolijohdet. Tällaisella rajapinnalla on erikoinen ominaisuus: virta kulkee sen läpi vain toiseen suuntaan. Yksi PN-rajapinta muodostaa diodin. Diodin piirrosmerkki on esitetty kuvassa 10. Jos diodin yli vaikuttava estosuuntainen jännite on liian suuri, tapahtuu läpilyönti eli vyörypurkaus, jonka seurauksena tavallinen diodi vaurioituu.

Transistori on puolijohdekomponentti, jossa on kaksi PN-rajapintaa. Puolijohdeet voivat olla järjestyksessä PNP tai NPN. Transistorin piirrosmerkit on esitetty kuvassa 11.



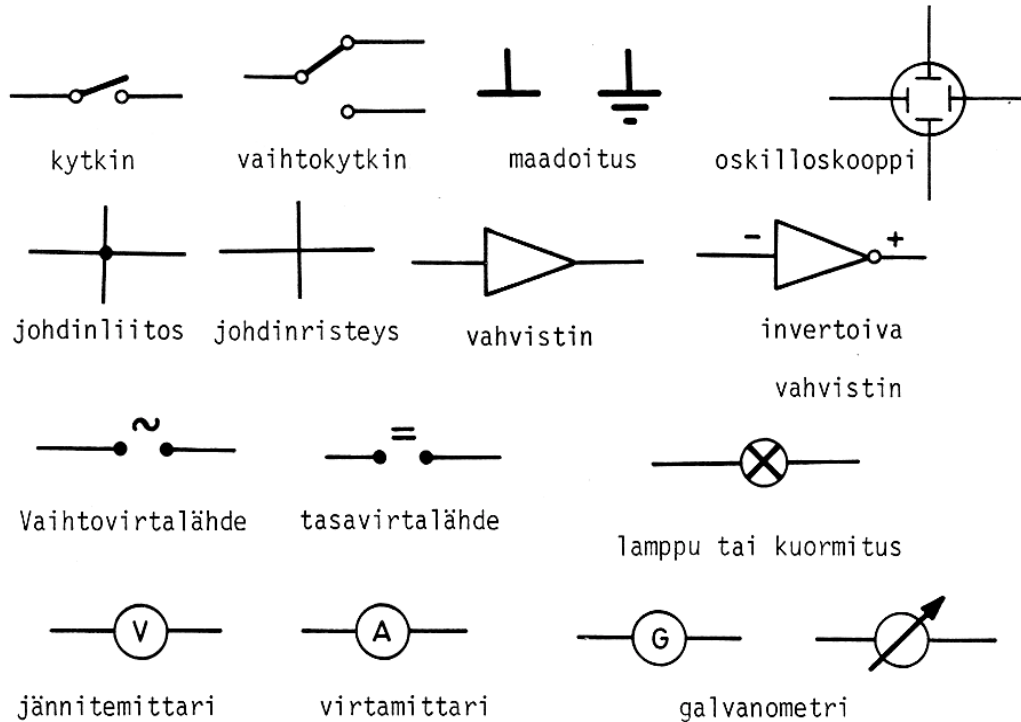
Kuva 10 Diodi



Kuva 11 .Transistorin piirrosmerkit

Muita komponentteja ja piirrosmerkkejä

Muitä sähköisissä piireissä käytettäviä komponentteja on esitetty kuvassa 12. Näistä tärkeimpiä ovat maadoituksen merkki sekä erilaiset piiriin kytketyt mittarit. Johdinristeyksen ja johdinliitoksen välinen ero on siinä syntykö johtimien välille kontakti vai ei.



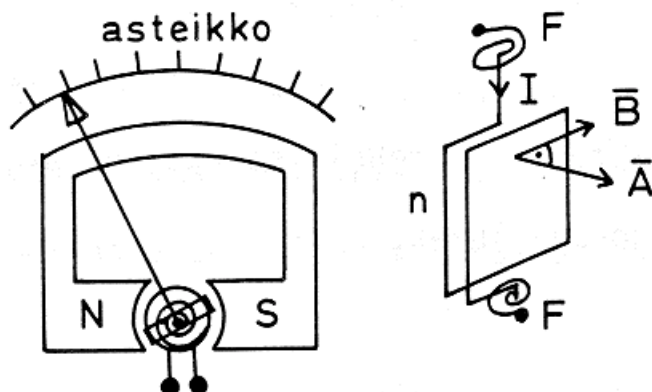
Kuva 12 Eräiden sähköisten komponenttien piirrosmerkkejä

3.2 Yleismittari

Sähköisten mittausten tekemisessä yleisimmin käytetty mittalaite on ns. yleismittari. Yleismittaria voidaan käyttää mittaamaan jännitteitä, virtoja ja vastuksien suuruutta. Yleismittareita valmistetaan sekä analogia- että digitaalinäytöllä.

Kiertokäämimittari

Harjoitustöissä vanhemmat käytettävät mittarit toimivat kiertokäämiperiaatteella. Kiertokäämimittarissa on kestopagneetin napojen välissä liikkuva käämi kuvan 13 mukaisesti. Virtasilmuksiaan vaikuttaa vääntömomentti, joka aiheutuu magneettivuon tiheyttä \mathbf{B} vastaan kohtisuorassa oleviin johtimiin kohdistuvasta voimasta



Kuva 13 Kiertokäämimittari. Vasemmalla on nähtävissä kestopagneetin, käämin ja osoittimen sijainti. Oikealla on esitetty momentin syntyyn vaikuttavat suureet.

$$\mathbf{F} = I\mathbf{l} \times \mathbf{B}, \quad (2)$$

missä L on käämin korkeus ja I siinä kulkeva virta. Tämä voima aiheuttaa neulaa kääntävän momentin. Kiertokäämimittarissa olevat kierrejouset aiheuttavat vastamomentin, joka kasvaa kiertokulman kasvaessa. Näin tietyllä virralla osoitin jää tasapainoasentoon ja kiertokulma on suoraan verrannollinen virtaan I .

Ylikuormitusvaurioiden estämiseksi mittarissa on suojakytkin, joka laukeaa ylitettäessä sallittu mitta-alue. Tällöin mittarissa oleva nuppi ponnahtaa ylös katkaisten mittarin virtapiirin.

Digitaalinen yleismittari

Yleisin käytössä oleva mittari on ns. digitaalinen yleismittari. Mittarin kytkentä on mutkikas ja sisältää joukon integroituja piirejä. Mittausarvon voi lukea numeerisesti suoraan näytöltä. Virta- ja jännitealueiden lisäksi mittarissa voi olla vastus- ja kapasitanssialueet ja niitä vastaavat aluevalitsimet.

Mittarin toiminta perustuu useimmiten ns. kaksoisintegrointiin, jota on esitetty kuvassa 14. Integrointi voidaan ilmaista matemaattisesti muodossa

$$\Delta U = -\frac{1}{RC} \int_0^{t_1} U_{in}(t) dt \quad (3)$$

Jos sisäänmenojännite $U_{in}(t)$ on vakio, saa integraali arvon

$$\Delta U = -(U_{in}/RC)t_1. \quad (4)$$

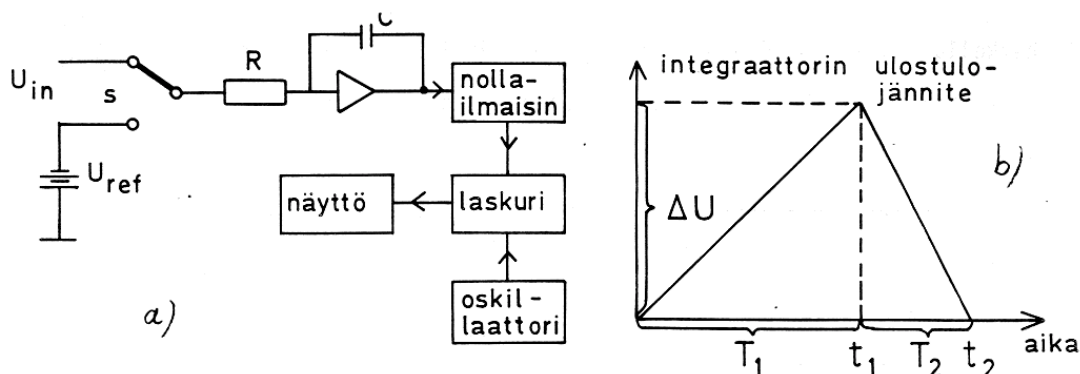
Mittauksen alussa mittalaitteen sisälläoleva kytkin s on yläasennossa ja integraattori alkaa muodostaa sisääntulojännitteen aikaintegraalia. Jos U_{in} on vakio, saadaan nouseva suora (kuva 1.14). Hetkellä t_1 kytkin s kytkee sisäänmenoon vertailujännitteen U_{ref} , joka on vastakkaismerkkinen ja suurempi kuin U_{in} . Vertailujännitettä aletaan integroida negatiivisena, jolloin saadaan laskeva suora. Jännite saavuttaa nollatason, ajanhetkellä t_2 . Aikavälinä t_2 integroitu ΔU on yhtä suuri kuin välillä t_1 integroitu, mutta vastakkaismerkkinen:

$$-\frac{U_{in}t_1}{RC} + \frac{U_{ref}t_2}{RC} = 0 \quad (5)$$

josta siis

$$t_2 = E_{in}/E_{ref} \cdot t_1 \quad (6)$$

Ajan mittaus tapahtuu laitteessa olevalla vakiotaaajuudella f_0 värähtelevän oskillaattorin pulsseja laskemalla. Ajan t_1 :n pituus on ennalta asetettu valitsemalla laskettava pulssimäärä N_C : $t_1 = N_C/f_0$.



Kuva 14 a) Digitaalisen jännitemittarin lohkokaaquio. Sisäisellä kytkimellä s voidaan kytkeä integraattoriin joko sisäänmenojännite U_{in} tai vertailujännite U_{ref} . Integraattorin muodostavat vahvistin, vastus R ja takaisinkytkentäkondensaattori C . Integraattorin ulostulojännite on verrannollinen sisäänmenojännitteen aikaintegraaliin. b) Ulostulojännitteen aikariippuvuus.

Vastaavasti $t_2 = N_D / f_0$. Tästä seuraa yhdistämällä

$$N_D = (E_{in} / E_{ref}) N_C. \quad (7)$$

Luku N_D tulostetaan ja se antaa suoraan numeroina sisäänmenojännitteen U_{in} arvon, kun N_C :n arvo on sopivasti valittu.

Esim. Mitataan asteikolla 2,000V, U_{ref} :ksi on valittu tasan 2,000V ja pulssimääräksi 200. Olkoon mitattava jännite vaikkapa 1,234 V. Tällöin saadaan N_D kaavasta (7) $N_D = 123,4$. Tämä tulostetaan ja kun pilkku siirretään oikeaan paikkaan nähdään näytössä U_{in} .

Virtamittaus

Virtamittauksissa mittari kytketään mitattavan laitteen kanssa sarjaan. Mittari on siis virtapiirin osa, jonka kautta piirissä kulkevan virran on mentävä (kuva 15).

Kiertokäämimittarilla voidaan mitata virtoja joiden suuruus on noin 10 μ A. Tätä suurempien virtojen mittausta varten mittarin rinnalle on pantava **sivuvastus R_s** (kuva 16). Jos sivuvastus on pienempi kuin mittarin sisäinen vastus, suurin osa virtaa kulkee sen kautta. Mittarin navoissa on tällöin jännite

$$U_0 = I_0 R_0 = I_s R_s \quad (8)$$

eli virta vastuksen läpi on

$$I_s = R_0 / R_s \cdot I_0. \quad (9)$$

Mitattava kokonaisvirta on $I = I_0 + I_s$, siis

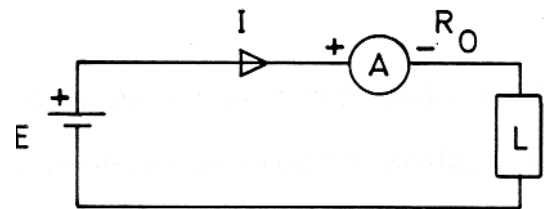
$$I = I_0 + \frac{R_0}{R_s} I_0 = \left(1 + \frac{R_0}{R_s}\right) I_0. \quad (10)$$

Jos mitta-alue halutaan laajentaa esimerkiksi kymmenkertaiseksi, saadaan edellä olevan perusteella:

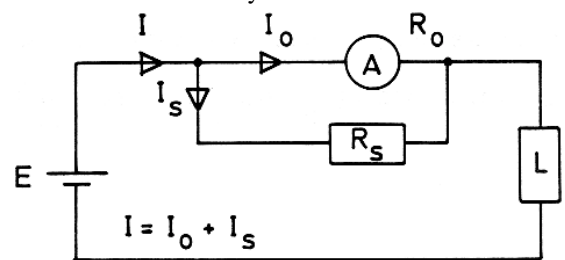
$$R_s = R_0 / 9. \quad (11)$$

Vaihdettaessa yleismittarissa virta-aluetta muutetaan juuri R_s :ää.

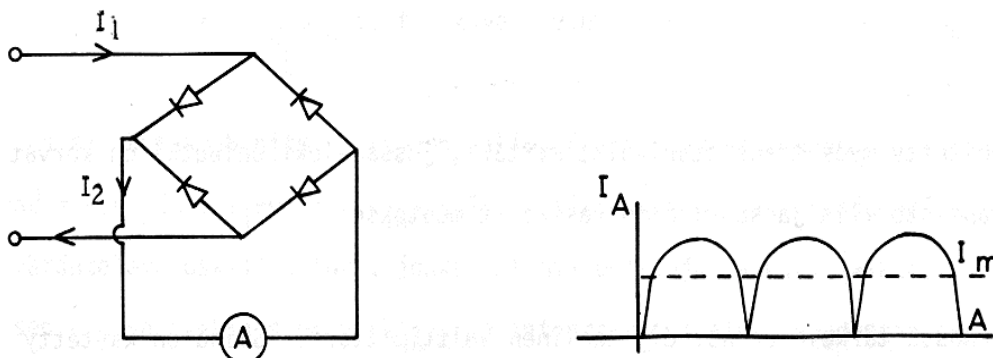
Kiertokäämimittarilla ja digitaalisella mittarilla mitataan vain tasavirtaa. **Vaihtovirtoja** (tai -jännitteitä) **mitattaessa** täytyy mitattava signaali ensin tasasuunnata. Yleensä virta tasasuunnataan diodia tai tasasuuntaussiltaa käyttäen. Tasasuuntaussilta on rakennettu neljästä puolijohdediodista kuvan 17 osoittamalla tavalla.



Kuva 15 Virtamittari kytketään aina sarjaan kuormituksen (L) kanssa. Kuvan esimerkissä on kyseessä tasavirtamittaus



Kuva 16 Virtamittarin alueen laajentaminen sivuvastuksella.



Kuva 17 Tasajännitesuuntaajina toimiva diodisilta sekä tasasuunnattu siniaalto (oikealla).

Tasavirtamittari mittaa tasasuunnatun virran keskiarvoa

$$I_m = \frac{1}{T} \int_0^T I(t) dt, \quad (12)$$

missä T on jaksonaika. Tämä on pienempi kuin vaihtovirran ns. **tehollisarvo eli RMS-arvo**

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2(t) dt}. \quad (13)$$

Koska kuitenkin mittarin halutaan näyttävän tehollisarvoa, on asteikko laadittu niin, että mittarin näyttämä virta on $I = K \cdot I_m$. Kertoimen K arvon voi laskea sisiaalloille helposti integroimalla sinifunktiota yhden jakson yli ja tulokseksi saadaan $K = 1.1$. Tämä yhteys keskiarvon ja tehollisarvon välillä on voimassa vain siniaalloilla. Jos mittarilla mitataan suorakaideaaltoja, saadaan yleensä liian suuria arvoja ja kolmioaalloilla liian pieniä arvoja. Kiertokäämimittarilla voidaan mitata vaihtovirtoja noin 20 kHz saakka laitteista riippuen. Digitaalisilla mittareilla taajuusalue on suurempi. Mittauksen tarkkuus riippuu siis paitsi mittarista, myös mitattavan jännitteen aaltomuodosta ja taajuudesta.

Jännitemittaus

Jännitemittari kytketään rinnan sen laitteen kanssa, jonka navoissa oleva jännite halutaan mitata. Mittarin kuluttama teho on tässäkin tapauksessa tehtävä mahdollisimman pieneksi. Koska teho on $P = U^2/R_o$, mittarin sisäinen vastus R_o olisi tehtävä mahdollisimman suureksi, kuva 18.

Sisäinen vastus on jännitemittarin herkkyysmitta. Mitä suurempi on mittarin sisäinen vastus sitä pienempi on mittarin kautta kulkeva virta ja sitä vähemmän mittari häiritsee mitattavaa piiriä. Herkkyys ilmoitetaan yksikköinä Ω/V , josta kunkin mitta-alueen sisäinen vastus saadaan kertomalla herkkyysasteikon täyttä poikkeamaa vastaavalla jännitteellä. Sisäinen vastus on vakio kullakin mitta-alueella, mutta vaihtelee alueelta toiselle siirryttäessä. Analogisen yleismittarin sisäänmenoimpedanssi on suuruusluokkaa 100 k Ω/V , joskin alhaisempiakin arvoja saattaa löytyä edullisimmista mittareista. Tämä suure tulee merkitykselliseksi tehtäessä jännitemittauksia piireissä, joita ei voi kuormittaa. Digitaalisissa jännitemittareissa on yleensä suurempi sisäänmenoimpedanssi.

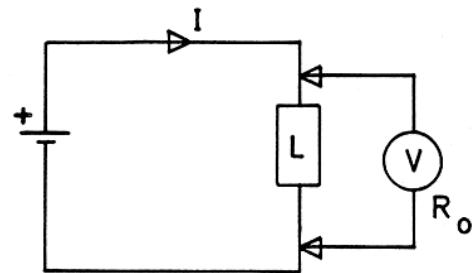
Kiertokäämimittarin suurin sallittu jännite on noin 1 mV, ja digitaalisen mittarin yleensä 5 V. Jännitemittarin lukema-alueita voidaan kuitenkin laajentaa suurempia jännitteitä varten kytkemällä mittarin kanssa sarjaan etuvastus R kuten kuvassa 19. Mittarin kautta kulkeva virta olkoon I_o ja sen navoissa oleva jännite

$$U_o = R_o I_o. \quad (14)$$

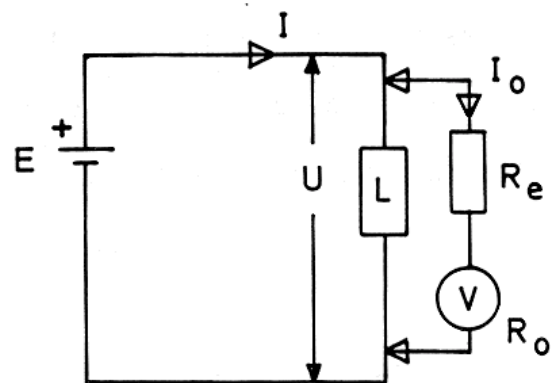
Tällöin mitattava jännite on

$$U = (R_e + R_o) \cdot I_o = (R_e + R_o)/R_o \cdot U_o. \quad (15)$$

Jos mitta-alue halutaan laajentaa esim. kymmenkertaiseksi, saadaan yllä olevan kaavan mukaan: $R_e = 9R_o$.



Kuva 18 Jännitemittari V kytketään kuormituksen kanssa rinnan.

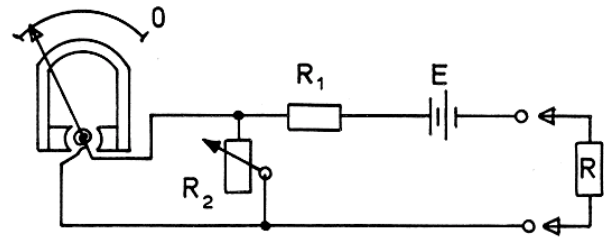


Kuva 19 Jännitemittarin alueen laajentaminen sarjaan kytketyllä vastuksella.

Vastusmittaus

Yleismittareissa on tavallisesti myös alueet vastusten mittaamista varten. Mittarissa on oma sisäinen jännitelähde E , josta syötetään virtaa kuvan 20 mukaisesti tuntemattomaan vastukseen R . Tämä virta mitataan. Joissakin yleismittareissa tulee mittari kalibroida ennen vastuksen mittausta. Tämä tapahtuu siten, että halutulla vastusalueella mittarin navat oikosuljetaan lyhyellä johtimella ja mittarissa olevalla potentiometrillä (R_2) säädetään vastuslukema nolllaksi.

Asteikko on kalibroitu näyttämään suoraan vastusyksiköitä. Koska virta on sitä suurempi mitä pienempi on vastus, asteikko on päinvastainen kuin muilla alueilla, eli asteikon nolllakohta on oikeassa reunassa. Vastusta mitattaessa on huomattava aina tarkastaa, että komponenttiin ei ole kytketty ulkoista jännitettä.



Kuva 20 Vastusmittauksen periaate. R_2 :lla suoritetaan nolllaus ennen mittausta. R on tuntematon vastus.

4 Oskilloskooppi

Oskilloskoopilla voidaan seurata nopeampia ilmiöitä kuin yleismittareilla. Sillä suoritettavat mittaukset eivät yleensä ole tarkkuusmittauksia vaan signaalin aaltomuotoon liittyvien seikkojen (amplitudi, taajuus, särö, jne.) arviomittauksia. Oskilloskoopilla saadaan tutkittavasta signaalista havainnollinen kuva, joten sen käyttö on usein erittäin hyödyllistä.

Useimmissa oskilloskoopilla suoritettavissa mittauksissa näytölle piirtyy kuva jännitteestä (pystyakselilla) ajan suhteen (vaaka-akselilla). Oskilloskoopin etu muihin mittauslaitteisiin verrattuna on sen monipuolisuus. Informaatiota saadaan yhdellä mittauksella enemmän kuin muilla mittauslaitteilla esim. laskurilla tai yleismittarilla. Oskilloskoopilla voidaan mitata signaalista esimerkiksi kuinka suuri on sen tasakomponentti (DC), vaihtokomponentin (AC) amplitudi, kuinka paljon siinä on kohinaa ja mikä on signaalin taajuus. Sen sijaan esimerkiksi tehollisarvon mittaaminen ei ole mahdollinen.

On olemassa hyvin erilaisia oskilloskooppeja, ja niiden suorituskyvyssä ja ominaisuuksissa on suuria eroja. Perustoiminnot eri laitteissa ovat kuitenkin samat, ja kun ne tunnetaan, on helppo nopeasti oppia käyttämään ennestään tuntematonta oskilloskooppia. Oskilloskooppi edestäpäin on esitetty kuvassa 21.

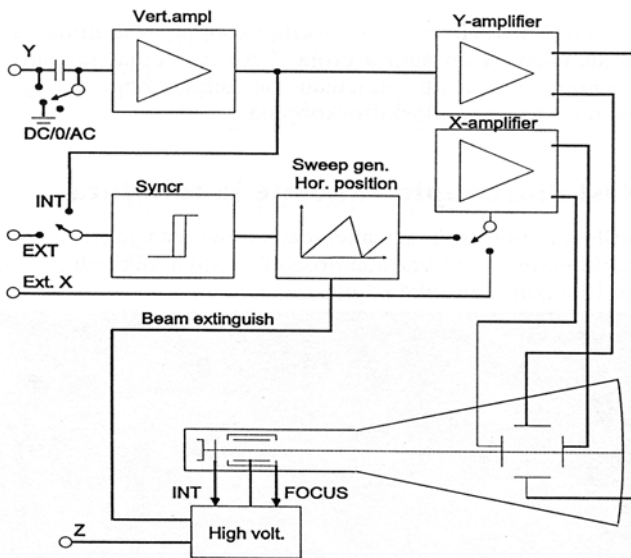
4.1 Oskilloskoopin rakenne ja toiminta

Oskilloskooppi voidaan rakenteensa puolesta jakaa neljään perusosaan: pystypoikkeutusosaan, vaakapoikkeutusosaan, liipaisuosaan sekä näyttöön. Kuvassa 22 on tavallisen oskilloskoopin lohkokaavio. Kuvassa on poikkeuksellisesti käytetty englanninkielisiä nimiä eri osille, jotta ohjauspaneelin merkinnät olisivat havainnollisempia.

Oskilloskoopin näyttönä toimii katodisädeputki. Katodisädeputken rakenne ja toimintatapa on esitetty kuvassa 23. Elektronitykillä synnytetään ja kiihdytetään elektronisuihku, joka osuessaan kuvapinnalla olevaan fosforiaineeseen synnyttää näkyvää valoa. Elektronisuihkun paikkaa kuvapinnalla ohjataan käyttäen poikkeutuslevyjä, joiden kohdalla elektroniin vaikuttaa poikkeuttava



Kuva 21 Oskilloskooppi ja säätimet.



Kuva 22 Oskilloskoopin lohkokkaavio. Kuvapisteen pystypoikkeutusta ohjaa pystypoikkeutusvahvistin (Vert. ampl.), jonka tulosta voidaan nollata (0), siihen voidaan ottaa mukaan (DC) tai siitä voidaan poistaa (AC) tasakomponentti kytkimellä DC/0/AC. Vaakapoikkeutusta ohjaa horisontaalivahvistin (X-amplifier), jonka ohjaus on tavallisimmin ajan mukana tasaisesti kasvava. Tämän pyyhkäisysignaalin antaa pyyhkäisygeneraattori (Sweep gen.), jonka liipaisu (Syncr) on ohjattavissa joko sisäisesti (INT) tai ulkoisesta signaalista (EXT). Pyyhkäisyä voidaan käyttää myös ulkopuolelta otettua signaalilla (Ext X). Kuvan alaosassa on säteen muodostusta varten elektronitykki, jonka muodostamaa suihkua voidaan tarkentaa kuvaputkella (FOCUS) ja jossa säde sammutetaan palattaessa kuvaruudun vasempaan reunaan (Beam extinguish).

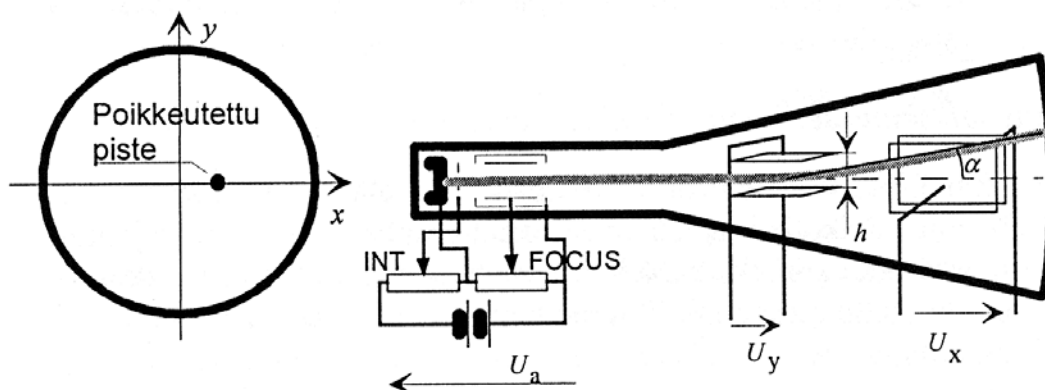
sähkökenttä. Poikkeama fluoresoivalla kuvapinnalla muodostuu verrannolliseksi poikkeutusjännitteeseen. Poikkeutuslevyjä on kaksi paria, ja siten voidaan sädettä poikkeuttaa sekä vaakasuuntaan (x) että pystysuuntaan (y). Piste kirkkauden eli säteen intensiteetin muuttamista elektronitykin hilajännitettä ohjaamalla sanotaan ohjaukseksi z -dimensiossa.

Melko usein pitää tarkastella yhtäaikaista useampaa signaalia. Tätä tarkoitusta varten oskilloskoopit on varustettu joillakin seuraavista ominaisuuksista:

- Pystypoikkeutukseen kytketään eri sisääntulokanavat, kukin vuorollaan lyhyeksi ajaksi yhden pyyhkäisyn kuluessa. (Yleensä riittävä)
- Kanavia vuorottellaan siten, että jokainen signaali vuorollaan näytetään kokonaisen pyyhkäisyn ajan.
- Kuvaputki rakennetaan sellaiseksi että siinä on silloin useampia elektronitykkeitä (tavallisesti kaksi) sekä jokaiselle omat poikkeutusjärjestelmät. (hyvä mutta kallis)

4.2 Tärkeimmät säätimet ja niiden käyttö

Kuvassa 21 on tavallisen laboratoriotyöhön sopivan oskilloskoopin etulevy. Valitsimet ja säätimet on nimetty oskilloskoopien etulevyllä englanninkielestä johdettujen lyhenteiden avulla. Seuraavassa mainitaan tavallisimmin esiintyvät säätimet kentittäin.



Kuva 23 Vasemmalla on katodisädeputken kuvapisteen poikkeutuskoordinaatisto. Oikeanpuoleisen kuvan poikkeutusjännitteiden suunnat vastaavat koordinaatistoa.



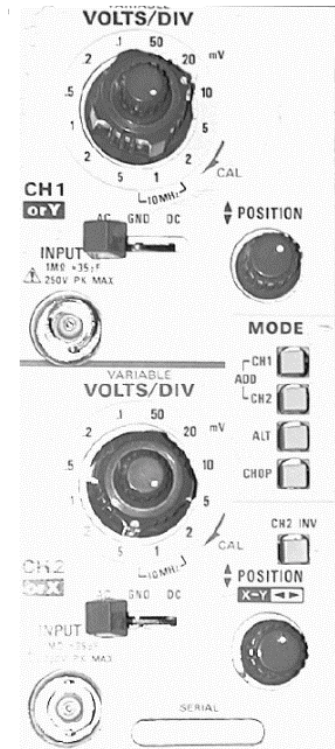
Kuva 24 Piirtojälkeen vaikuttavat säätimet

Piirtojälkeen vaikuttavat säätimet (kuva 24):

- POWER + SCALE ILLUM: Oskilloskoopin verkkokytkin ja asteikon valaistus
- INTENSITY: Kuvan kirkkauden säätö, vaikuttaa elektronitykin lähettämään elektronimäärään. Huom.! Liian kirkas piste saattaa "polttaa reiän" kuvapintaan.
- FOCUS: Pisteestä terävyyden säätö.

Pystypoikkeutukseen vaikuttavat säätimet (kuva 25)

- VOLTS/DIV: Mittausalueen herkkyyden valinta pysty-suunnassa. Yksikkönä on jännite näyttöruudun yksikköä kohti. Tämän nupin keskellä on poikkeutus-herkkyyden portaaton asettelu (VARIABLE). Herkkyys on säätimen osoittama vain, kun portaaton asetus on asennossa CAL.
- POSITION: Kanavan 1 kuvan siirto pystysuunnassa.
- VOLTS/DIV: Mittausalueen herkkyyden valinta pystysuunnassa. Yksikkönä on jännite näyttöruudun yksikköä kohti. Tämän nupin keskellä on poikkeutus-herkkyyden portaaton asettelu (VARIABLE). Herkkyys on säätimen osoittama vain, kun portaaton asetus on asennossa CAL.
- POSITION: X-Y \leftrightarrow Kanavan 2 kuvan siirto pystysuunnassa, tai X-Y toiminnossa kuvan siirtäminen vaakasuunnassa..
- DC/GND/AC (INPUT): Kytkee signaalin vahvistimeen sellaisenaan (DC) tai suodattaa pois tasajännitteen (AC). Asennossa GND sisäänmeno nollataan.
- VERTICAL MODE CH1/DUAL/CH2: Y-poikkeutukseen kytketyn kanavan valinta. Asennossa DUAL vaikuttaa myös seuraava valitsin:
- VERTICAL MODE ALT/CHOP/ADD: Vuoroittaispoikkeutuksen valitsin. Asennossa ALT kumpikin Y-signaali poikkeuttaa vuorollaan yhden pyyhkäisyn ajan. Asennossa CHOP saman pyyhkäisyn aikana saadaan kumpikin Y-signaali näkyviin. Asennossa ADD poikkeutussignaali on Y-vahvistimien (CH1 ja CH2) lähtösignaalien summa.



Kuva 25 Oskilloskoopin pystypoikkeutukseen vaikuttavat säätimet

Vaaka-akselin pyyhkäisyyn vaikuttavat säätimet (kuva 26)

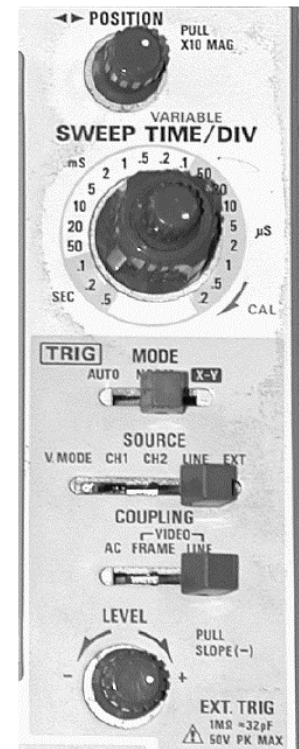
- SWEEP TIME/DIV: Asettaa aika-asteikon. Valitsimen arvo ilmaisee näytön ruutua vastaavan ajan. Tämän nupin keskellä on pyyhkäisy nopeuden portaaton asettelu (VARIABLE). Nopeus on säätimen osoittama vain, kun portaaton asetus on asennossa CAL.
- POSITION: Siirtää kuvaa vaakasuunnassa.

- **PULL XIO MAG:** Vaaka-akselia suurennetaan kertoimella 10. Vaikuttaa myös ulkoista vaakapoikkeutusta käytettäessä.
- **SWEEP DELAY:** Viivästää pyyhkäisyn alkuhetkeä liipaisuhetkeä myöhemmäksi. Käyttämällä viivästystä voidaan tutkia tahdistushetkestä verraten kaukanakin olevia yksityiskohtia. Tätä säädintä ei ole kuvassa 26.

Liipaisuosa

Liipaisuosa määrää hetken, jolloin oskilloskooppi aloittaa signaalin piirtämisen. Koska mitattava signaali on tavallisesti jatkuva ja toistaa itseään jaksollisesti, on liipaisun tehtävä ajoittaa piirto alkamaan täsmälleen samasta kohdasta signaalin jaksoa. Liipaisupiirille tuodaan signaali, jota verrataan tarkasti aseteltavaan tasajännitteeseen. Liipaisuosan säätimet on esitetty kuvan 26 yksikön alaosassa (TRIG):

- **SOURCE** Valitse liipaisuun kytkeytyvän signaalin:
 - CH1 kytkee liipaisun CH1 -kanavan signaaliin
 - CH2 kytkee liipaisun CH2-kanavan signaaliin
 - LINE liipaisee verkkotaajuuden perusteella
 - EXT kytkee liipaisun EXT TRIG-liittimeen kytkeytyyn signaaliin
- **AUTO:** Automaattiliipaisu; liipaisupulssi synnytetään, mikäli määräajan (n. 10-20 ms) kuluessa edellisestä liipaisusta ei ole löytynyt liipaisuehdon toteuttavaa signaalia. Automaattiliipaisulla saadaan aina vaakapoikkeutus tapahtumaan, joten kuvaruudulle tulee jonkinlainen kuva, jota voidaan käyttää lisäsäätöjen helpottamiseksi.
- **NORM:** Normaali muodossa liipaisu tapahtuu ainoastaan, kun signaalitaso ohittaa liipaisutason halutulla tavalla. Kun liipaisutaso on signaalin ulkopuolella, ei liipaisua tapahdu eikä kuvaruudulle piirry mitään.
- **SINGLE:** Kertaliipaisu; pyyhkäisy tapahtuu vain kerran. Ominaisuutta tarvitaan tutkittaessa kertailmiöitä (esim. käyttöjännitteiden kytkeytyminen). Muistioskilloskoopissa kuva jää näkyviin kuvapinnalle, jolloin sitä voidaan tarkastella. Tavallisella oskilloskoopilla ei yksittäistä pyyhkäisyä yleensä ehdi tutkia ennen sen himmenemistä. Uusi pyyhkäisy saadaan kytkimellä RESET. Tätä ei ole kuvassa 26.
- **X/Y:** Vaakapoikkeutus ei tule aikaan verrannollisena, vaan kanavasta, joka on valittu SOURCE valitsimella.
- **SLOPE (tai +/-) :** Liipaisureunan valinta (nouseva/laskeva)
- **LEVEL:** Liipaisujännitteen asettelu. Signaalin valitun reunan ohittaessa liipaisujännitteen mittausta alkaa.
- **HOLD OFF :** Pyyhkäisyn jälkeisen liipaisun estoajan säätö. Tänä aikana ei edes liipaisuehdon täyttävä signaali aiheuta uutta liipaisua. Tästä on etua tutkittaessa monimutkaisia aaltomuotoja, joissa liipaisu voisi tapahtua useasta kohdasta, mikä siten aiheuttaisi näytön epävakaisuuden.
- **COUPLING:** Liipaisevan signaalin käsittely. Liipaiseva signaali voidaan tuoda joko sellaisenaan (DC) tai siitä voidaan suodattaa tasajännitekomponentti pois (AC). Lisäksi signaalille voi olla valittavissa joko ali- (HF REJ tai LF) tai ylipäästösuodatus (HF) ennen liipaisupiiriä. Monen oskilloskoopin liipaisupiirissä on suodatin, joka tunnistaa videosaunan tahdistuspulssit (TV). Uusissa digitaalisissa oskilloskoopeissa on näiden lisäksi muitakin mahdollisuuksia liipaisuehtojen asettamiselle.



Kuva 26 Oskilloskoopin vaakapoikkeutukseen vaikuttavat säätimet

4.3 Oskilloskoopin XY-asento

Joskus halutaan mitata jännitettä muun kuin ajan funktiona. Tällaisia ovat esimerkiksi diodin läpi menevän virran mittaaminen diodin yli olevan jännitteen funktiona tai vahvistimen vahvistuksen mittaaminen.

Useimmissa oskilloskoopeissa on aikapyyhkäisyn lisäksi XY-asento, jolloin ykköskanavaan tuleva signaali ohjaa näytön vaakasuuntaa (x) ja kakkoskanavaan tuleva signaali pystysuuntaa (y). Esim. vahvistimen vahvistusta mitattaessa x-kanava liitetään vahvistimen ottoon ja y-kanava antoon. Jos vahvistin vahvistaa lineaarisesti, on lähtö sama kuin otto vakiolla kerrottuna. Näin ollen oskilloskoopille piirtyy kallellaan oleva suora viiva.

Kun sisään syötetään muuttuva signaali, huomataan vahvistimen viiveen aiheuttama vaikutus. Signaalin noustessa käyrä piirtyy eri kohdalle kuin signaalin laskiessa ja syntyy soikio. Signaalien välillä on viiveestä johtuva vaihe-ero.

Kahden signaalin vaihe-eron voi mitata oskilloskoopilla. Kuvassa 27 on esitetty tilanne, jossa x- ja y-kanavia ohjaavat samantaajuiset sinijännitteet, joiden vaihe-ero on ϕ . Merkitään oskilloskoopille piirtyvän käyrän x- ja y-koordinaatteja

$$P_x = c \sin(\omega t) \text{ ja} \quad (16)$$

$$P_y = a \sin(\omega t + \phi), \quad (17)$$

missä, ω on kulmataajuus, a ja c ovat signaalien maksimijännitteet ja t on aika. Pisteiden a ja b avulla voidaan laskea kanavien välinen vaihe-ero. Pisteestä a mitataan y:n maksimiarvo ja pisteessä b saadaan y:n arvo, kun x:n arvo on laskenut nollaan.

$$P_y(b) = b = a \sin(\omega t + \phi) \quad (18)$$

Valitaan ajan nollakohdaksi piste b ja saadaan vaihe-eroksi

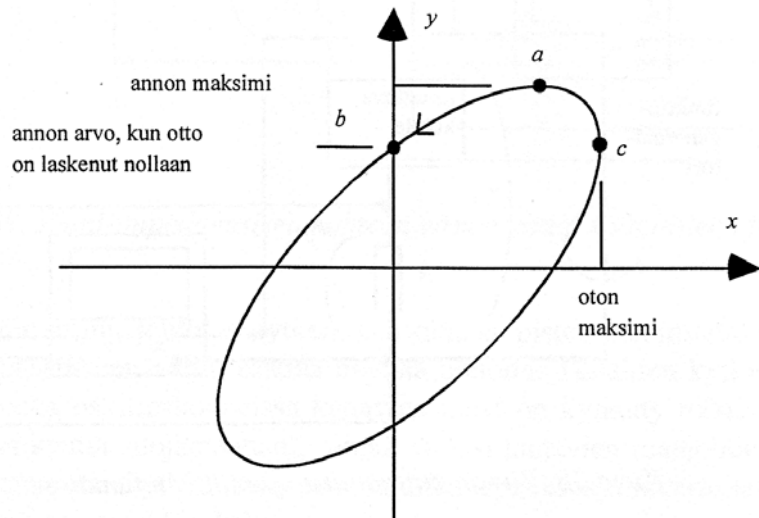
$$\phi = \arcsin(b/a) \quad (19)$$

Soikion pyörimissuunta kertoo kumpi kanava on edellä. Tätä kuvaa vaihe-eron merkki. Vaihe-ero kuvan 27 tapauksessa on negatiivinen ja se johtuu siitä, että y-kanava on jäljessä.

Jos syntyvä kuvio on ympyrä, tai aivan pystyssä oleva soikio, on vaihe-ero signaalien välillä 90° . Vasemmalle kallellaan olevan soikion tapauksessa vaihe-ero on yli 90° . Nopeissa signaalissa ei suoralta kädeltä pysty näkemään pyörimisliikkeen suuntaa, joten vaihe-eron merkin selvittämiseksi on syytä seurata molempia kanavia myös aikapyyhkäisyllä.

4.4 Digitaalinen oskilloskooppi

Digitaalioskilloskoopissa tuleva signaali muunnetaan analogia-digitaalimuuntimella (AD) digitaaliseksi esivahvistuksen jälkeen. Sen perustoiminta käyttäjään nähden on kuitenkin samanlaista kuin tavallisen oskilloskoopin, mutta signaalin käsittelyyn se tarjoaa paljon mahdollisuuksia.



Kuva 27 Vaihe-ero vahvistimen sisäänmenon ja ulostulon välillä

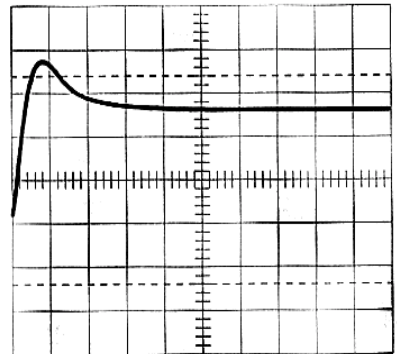
Tärkein lisäominaisuus tavalliseen oskilloskoopin nähden on signaalin tallentaminen muistiin ja sen tutkimen jälkeenpäin. Tämä on hyödyllistä esimerkiksi kertaluontoisten tapahtumien yhteydessä, kuten laitteen käynnistäminen, tai hyvin hitaiden muutoksien seuraamisessa. Kuvapinnalle voi myös tulostaa tekstiä ja mittaustulos voidaan siirtää tietokoneeseen.

Toinen tavallisista oskilloskoopeista koonaan puuttuva mahdollisuus on ns. Pretrigger-näyttö, joka on esitetty kuvassa 28. Koska mittaustulos talletetaan digitaali-oskilloskoopin muistiin, voidaan näytölle saada mikä tahansa jakso myös ennen tahdistushetkeä. Vain muistin koko rajoittaa ennakkointia.

4.5 Oskilloskoopin mittausohje

Seuraavassa on esimerkki erään tavallisen laboratorioskilloskoopin mittausohjeesta.

1. Verkkovirta kytketään, annetaan kuvaputken lämmitä
2. Säätimet perusasentoon:
 - VOLTS/DIV maksimiin
 - TRIGGER MODE AUTO
 - TRIGGER SOURCE CH1
 - VERTICAL MODE CH1 I
 - INPUT SELECTOR AC
 - TIME/DIV keskialueelle, esim. 1 ms/DIV
 - POSITION (vert) keskelle
 - säädä piste teräväksi ja intensiteetti kohtuulliseksi
3. Kuvan saaminen signaalista
 - Kytke signaali kanavaan 1
 - Aseta herkkyys VOLTS/DIV signaalin mukaan
 - Aseta TRIGGER LEVEL niin, että kuva pysyy vakaana
 - Tarkista INPUT SELECTOR-asetus (DC tai AC)
 - Aseta pyyhkäisy nopeus sopivaksi



Yleisimmät ongelmat tai virheet

- kuva ei pysy paikallaan
- liipaisu on liian korkea
- liipaisu tapahtuu väärästä kanavasta
- kuva/signaali kokonaan kadoksissa
- kuva ruudun ulkopuolella
- vahvistus liian suuri tai pieni
- liipaisu on liian korkea
- portaaton aika- tai jänniteakseli on käytössä (\neq CAL)
- Säätimien jännite- ja aika-arvot eivät pidä paikkaansa.

Kuva 28 Yläkuvassa normaali näyttö ja alakuvassa vastaava pretrigger-näyttö. Tahdistus on kiinnitetty transientin nousevaan osaan, joka näkyy yläkuvan vasemmassa laidassa.