

FYSA1110/K1 (FYSP1082/K5) OSKILLOSKOOPIN KÄYTTÖ

1 Johdanto

Työssä tutustutaan oskilloskoopin käyttöön. Työn tavoitteena on

- Ymmärtää oskilloskoopin toimintaperiaatetta
- Tutustua erilaisten jännitesignaalien mittaukseen
- Oppia valitsemaan tarkoituksenmukaiset asetukset oskilloskooppiin
- Tutustua oskilloskoopin AC- ja DC-toimintoihin sekä kaksikanavamoodiin
- Tutustua oskilloskoopin AUTO- ja NORMAL -liipaisumoodeihin
- Perehtyä oskilloskoopin XY-moodin toimintaan

Lisäksi mitataan erilaisia komponentteja, joihin tutustutaan kurssien FYSP1040 ja FYSP1050 töissä. Oskilloskooppityö voidaan tehdä parityönä, mutta jokainen työskentelee ehdottomasti oman oskilloskooppinsa kanssa!

Katodisädeoskilloskooppi on elektroninen jännitemittari ja piirturi, jolla voidaan havainnollistaa esimerkiksi eri suureiden aikariippuvuuksia. Ehtona kuitenkin on, että mitattava suure on saatava sopivalla laitteistolla muutettua sähköiseksi signaaliksi.

Oskilloskooppia voidaan käyttää mm. vaihtojännitteen, virran, taajuuden, vaihe-eron ja ajan mittaamiseen sekä havainnollistamaan ääniaaltoja ja muita aaltoliikkeitä. Ennen työn tekemistä on hyvä tutustua alan kirjallisuuteen, esim.

- Young & Freedman: *University Physics*, 10. painos, kappale 24-7: The Cathode-Ray Tube, s. 751 – 754 (uudemmissa painoksissa asiaa ei käsitellä)
- Ian Hickman; *Oscilloscopes*
- J. Terentjeff, P. Toivanen; *Oskilloskooppi* (työosastolla)
- B+K Precisions's guidebook to oscilloscopes, Second edition (työosastolla)
- Laitteiden ohjekirjat (työosastolla).

Seuraavassa työohjeessa kerrotaan oskilloskoopin toiminnasta. Tekstiin sijoitetut kysymykset ovat oppimiskysymyksiä; jos et keksi vastausta, kysy apua ohjaavalta assistentilta. Työtä tehdessä on syytä lukea työohjeen lisäksi myös oskilloskoopin omaa ohjekirjaa.

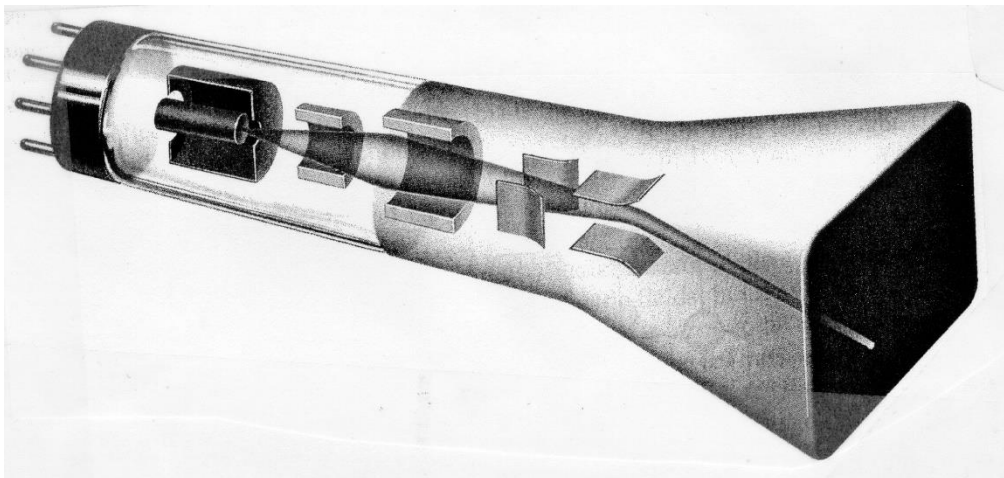
2 Oskilloskoopin rakenteesta

Tässä ohjeessa käytetyt oskilloskoopin kytkinten nimet ovat useimmiten oskilloskooppityössä käytettävästä analogisesta Hameg-oskilloskoopista. Kytkinten nimet saattavat poiketa malleittain.

Oskilloskoopin pääosat ovat

- katodisädeputki poikkeutuslevyineen
- sisäänmenokanavat vahvistimeen; kanavasta tuleva signaali johdetaan poikkeutuslevyille, jotka ohjaavat elektronisuihkun tiettyyn kohtaan katodisädeputken kuvapinnalle
- pyyhkäisygeneraattori ja tahdistusosa eli triggausosa, joilla ajasta riippuvasta signaalista saadaan stabiili kuva.

Katodisädeputki on analogisen oskilloskoopin tärkein osa. Kuvassa 1 on esitetty putken rakenne.



Kuva 1. Katodisädeputken rakennekaavio.

Yksi katodisädeputken tärkeimmistä osista on **elektronitykki**. Se on laite, joka tuottaa kapean elektronisuihkun. Elektronit kiihdytetään tyypillisesti n. 5 kV:n jännitteellä. Mielikuvan saamiseksi kannattanee laskea elektronien nopeus – tarvitseeko suhteellisuusteoria ottaa huomioon? Elektronisuihku saadaan näkyväksi **fluoresoivan levyn** avulla, joka muodostaa oskilloskoopin näytön. Kohta, johon elektronisuihku osuu, näkyy levyllä kirkkaana fluoresoivana pisteenä. Tätä kohtaa nimitetään jatkossa ‘pisteeksi’. Elektronisuihkun ja siten myös pisteen kokoa säädetään sähköisillä **fokusointilinsseillä**, joiden jännitteeseen voidaan

vaikuttaa oskilloskoopin etupaneelin FOCUS-säätimellä. Tutkittava jännite ohjataan **poikkeutuslevyille**, joiden väliin muodostuu sähkökenttä. Sähkökenttä poikkeuttaa elektroneja niin, että piste oskilloskoopin näytöllä siirtyy toiseen paikkaan. Piste paikka näytöllä on suoraan verrannollinen levyille tuotuun jännitteeseen – lue edellä mainittu Young & Freedmanin (10. painos) luku 24-7!

Tyypillisesti oskilloskoopissa on kaksi kanavaa. Usein oskilloskoopin molempia kanavia voidaan seurata näytössä yhtä aikaa, jolloin puhutaan kaksoissäde-oskilloskoopista. Oskilloskoopilla voidaan seurata signaalin kulkua erilaisissa elektroniikkapiireissä. Oskilloskooppi ei yleensä juuri häiritse tutkittavia piirejä, koska sen sisäinen vastus (=sisäänmenoimpedanssi) on hyvin suuri $\sim 1 \text{ M}\Omega$. Joissakin oskilloskoopeissa voidaan valita sisäänmenoimpedanssiksi myös 50Ω , mikä voi olla edullisempaa joissain erikoistilanteissa.

Katodisädeputkeen perustuva analoginen oskilloskooppi on enenevässä määrin korvautumassa digitaalisella oskilloskoopilla, jossa ei enää ole elektronisuihkua, vaan erilaisia vahvistin- ja logiikkapiirejä. Digitaalioskilloskoopin näyttö ja toiminta kuitenkin jäljittelee analogista niin pitkälle, ettei niillä ole käytön kannalta mitään eroa.

Käyttöolosuhteista ja mittauskohteesta riippuen on valittavissa erilaisia oskilloskooppeja. Yleisimmät oskilloskoopin laatuksiteerit ovat

- kanavien lukumäärä; useimmiten **tarvitaan** kahta tai neljää kanavaa, mutta myös yksikanavaisia oskilloskooppeja on myynnissä
- kaistanleveys, joka kertoo sen taajuuden suuruusluokan, jota oskilloskoopilla vielä pystytään seuraamaan, yleensä muutamia kymmeniä megahertsejä
- herkkyys, joka kuvaa sitä, kuinka heikkoja jännitesignaaleja voidaan vielä tutkia.

Jännitealueen valinta

Mittausalueen laajentamiseksi sisäänmenokanavaan tuotu jännite vahvistetaan sopivasti. Vahvistus valitaan VOLTS/DIV-valitsimella. Kaksoissädeoskilloskoopissa molempien säteiden vahvistus on toisistaan riippumaton. Voit siis katsella samanaikaisesti muutaman voltin ja muutaman millivoltin jännitteitä, kumpaakin sopivassa pystyasteikossa. Oskilloskooppi kalibroidaan valmiiksi niin, että pisteen paikasta voidaan suoraan päätellä poikkeutuslevyille syötetty jännite. VOLTS/DIV-valitsimessa on punainen hienosäätönapulla (CAL), jonka **tulee olla säädettyä n. 90° oikealle** (napulla ”naksattaa” oikeaan asentoon). Tällöin VOLTS/DIV-kytkimen asento kertoo, mikä on mitattavan jännitteen ja näytöltä luetun

matkan vastaavuus, esim. 20 mV/cm. Näytöllä on työskentelyn helpottamiseksi apuruudukko, jossa on 1 cm ruudut ja sekä vaaka- että pystykeskiakseleilla hienojakoisemmat apuviivat.

Pyyhkäisynopeuden valinta

Mitattava jännite tuodaan yleensä oskilloskoopin pystypoikkeutuslevyille. Oskilloskooppi rakennetaan siten, että tutkittava jännite siirtää elektronisuihkua pystysuorassa suunnassa (ylös tai alas). Lisäksi oskilloskoopissa on elektronisuihkua vaakasuoraan suuntaan poikkeuttava levy pari. Tähän levy pariin on kytketty tasaisesti muuttuva ns. pyyhkäisyjännite, joka kääntää suihkua siten, että elektronisuihkun piste liikkuu oskilloskoopin näytöllä (oskilloskoopin katselijan näkökulmasta) vasemmalta oikealle. Nopeus, jolla piste liikkuu oskilloskoopin näytöllä, on **pyyhkäisynopeus**, joka on käyttäjän säädettävissä.

Oskilloskoopin vaakapyyhkäisyn nopeutta voidaan säätää TIME/DIV-valitsimesta. Vaakapyyhkäisy on tehdaskalibroitu, jolloin yksi senttimetri ruudulla vastaa TIME/DIV-valitsimesta valittua aikaa (esim. 10 ms/cm). Kalibroinnin tarkistamista varten oskilloskoopissa itsessään on kalibroitu ulostulo (Calibrator $0,2V_{pp}$), josta saatavan pulssin pituus ja amplitudi tunnetaan. TIME/DIV-valitsimessa on (punainen) hienosäätönappi (CAL.). Kun säädin osoittaa n. 90° oikealle (katkaisija "naksahda" käännettäessä säädin tähän asentoon), tehdaskalibraatio on voimassa ja vaakapyyhkäisyn aika vastaa TIME/DIV-valitsimesta valittua aikaa. Muussa asennossa säätimellä voidaan muuttaa portaattomasti elektronisuihkun vaakapyyhkäisynopeutta. Tätä ominaisuutta voidaan hyödyntää haluttaessa käyttää oskilloskoopin koko näytön aluetta, mutta se on myös kaikkein tavallisin karkean virheen aiheuttaja oskilloskoopimittauksissa. **Varmista aina, että vaakapyyhkäisyn hienosäätönappi on CAL-asennossa, kun luet aikaa/jännitettä näytöltä!**

Sisäänmenokanavan asetukset ja kuvan vaaka- sekä pystysuunnan säätäminen

Oskilloskoopin sisäänmeno voidaan kytkeä poikkeutuslevyihin kolmella eri tavalla. Niitä merkitään DC, AC ja GD. Näillä merkinnöillä on sikäli tekemistä tasa- ja vaihtovirran kanssa, että tasajännitettä voidaan mitata vain DC-asennossa, mutta vaihtojännite voidaan mitata sekä AC- että DC-asennoissa.

GD eli ground-kytkennässä molemmat pystypoikkeutuslevyt on kytketty maan potentiaaliin. Levyjen välissä ei silloin ole sähkökenttää, ja elektronisuihkun paikka näyttää nollajännitteen sijainnin. Tässä asennossa jännitteen nollassa voidaan säätää Y-POS merkityllä säätönupilla halutulle kohdalle. Kaksikanavaisessa oskilloskoopissa kummallekin kanavalle on oma

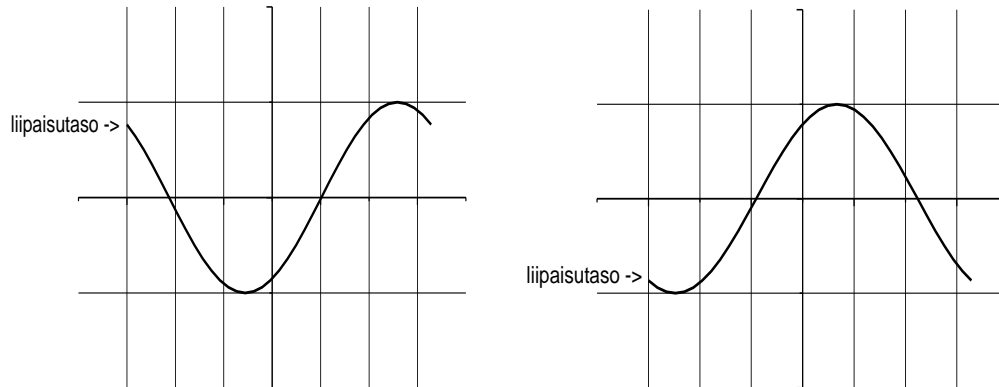
korkeussäätönuppeja. Digitaalisessa oskilloskoopissa nuppeja on yleensä vain yksi, ja nappulasta valitaan, kumman kanavan korkeutta kulloinkin säädetään. X-POS -säätimellä voidaan kontrolloida oskilloskoopin näytölle tulevan kuvan vaakasuuntaista paikkaa.

DC-kytkennässä jännitesignaali viedään toiselle (ylemmälle) poikkeutuslevylle, ja toinen (alempi) levy kytketään sisäänmenoon tulevan koaksiaalijohtimen kuoreen ja oskilloskoopin maahan. Elektronisuihkun paikka oskilloskoopin näytöllä kertoo mitattavan signaalin ”absoluuttisen” jännitteen eli jännitteen maan potentiaalin verrattuna. AC-kytkennässä koaksiaalijohtimen keskijohto viedään ylemmälle ja kuori alemmalle poikkeutuslevylle, mutta niiden annetaan vapaasti kellua maan potentiaaliin nähden. Tällä kytkennällä voidaan mitata esimerkiksi 100 V tasajännitteen päällä oleva muutaman millivoltin rippelijännite.

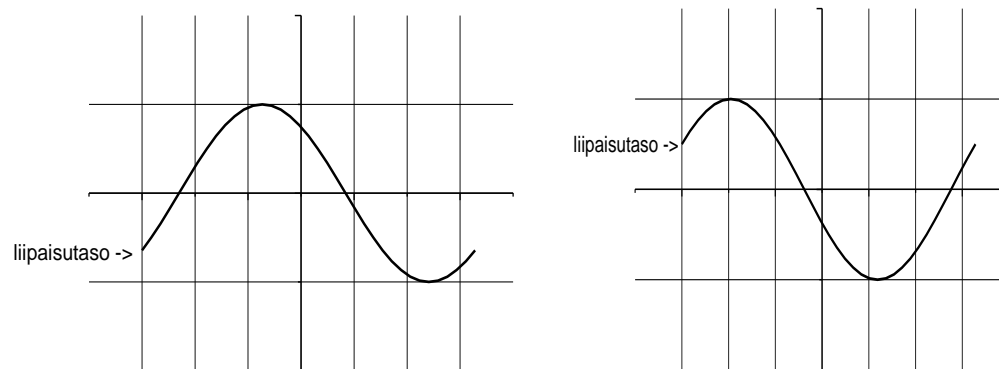
Liipaisu eli triggau

Oskilloskoopin liipaisun (tahdistus, ”triggau”) merkitys on siinä, että sen avulla näytölle eri pyyhkäisykerroilla saatavat kuviot saadaan osumaan päällekkäin eikä tuloksena ole vain koko näytön peittävä sotku. Liipaisu voi tapahtua eri tavoin (liipaisun käyttöä ja merkitystä havainnollistetaan tarkemmin tehtävässä 4).

Normaalimoodissa (MODE ”NM”) oskilloskoopin liipaisu on kytketty kanavan sisäänmenojännitteeseen. Kaksoissädeoskilloskoopissa on kaksi sisäänmenoa, jolloin TRIG.I/II -valitsimella päätetään, kumpaa sisäänmenoa käytetään liipaisuun ja seurataan näytöllä. Jos halutaan toinenkin sisäänmeno näytölle, se saadaan aikaan painamalla DUAL-valitsin pohjaan. Liipaisu tapahtuu, kun sisäänmenojännite saa tietyn arvon. Tätä arvoa, liipaisutasoa tai ’triggaustasoa’, voidaan säätää LEVEL-säätimestä. Muuttuva sisäänmenojännite voi saavuttaa tietyn liipaisutason kahdella tavalla. Joko jännite pienenee, kunnes saavuttaa liipaisutason, tai sitten se kasvaa, kunnes taso saavutetaan. Ensimmäisessä tapauksessa sanotaan liipaisun tapahtuvan laskevasta reunasta, jälkimmäisessä taas nousevasta reunasta. Oskilloskoopilla tämä valinta tehdään SLOPE-katkaisimesta, joka tavallisimmin merkitään +/- tai signaalin nousemista ja laskemista kuvaavilla piirrossymboleilla. Jos signaalin jännite ei leikkaa liipaisutasoa, normaalimoodissa liipaisua ei tapahdu ja oskilloskoopin näyttö pysyy pimeänä. Oskilloskoopissa on ledi (TR), joka palaa jos jännite leikkaa liipaisutasoa.



Kuva 2. Liipaisu on asetettu tapahtumaan SLOPE -kytkimellä laskevasta aallosta.



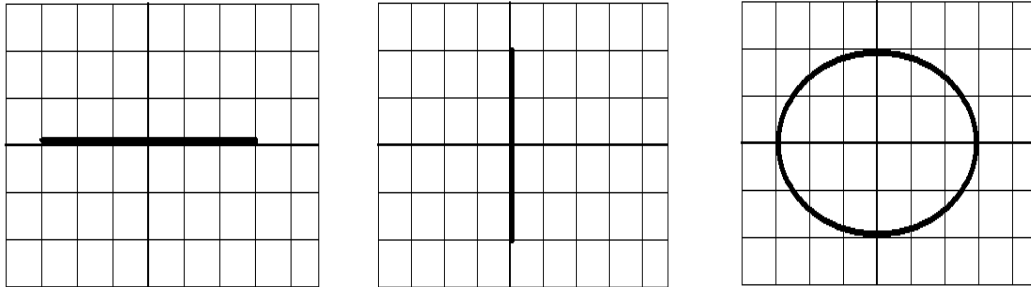
Kuva 3. Liipaisu on asetettu tapahtumaan SLOPE -kytkimellä nousevasta aallosta.

Automaattimoodissa (MODE "AT") oskilloskooppi tutkii ensin signaalin huipusta huippuun ja skaalaa sitten liipaisutason säädön rajat (LEVEL -nupin asteikon) jännitteen huipusta-huippuun-arvon mukaisesti. Liipaisu tapahtuu tämän jälkeen automaattisesti LEVEL-säätimellä valittavasta kohdasta signaalia.

Automaattimoodi on käyttökelpoinen sellaisten yksinkertaisten signaalien tutkimiseen, joiden taajuus on yli 20 Hz. Signaalista näytölle saatavan kuvan stabiilius edellyttää seuraavan liipaisun alkavan samalta tasolta kuin edellinen. Hyvin alhaisilla, muutaman Hertzin luokkaa olevilla taajuuksilla tämän tason saavuttaminen viivästyy, jolloin AT-moodissa liipaisu alkaa automaattisesti jo ennen tämän tason saavuttamista ja siis eri tasolta kuin edellisellä kierroksella. Tästä johtuen näytölle saatava signaali vaeltaa kuvaruudulla.

XY-moodi

Oskilloskooppia voidaan käyttää myös XY-piirturina, jolloin pyyhkäisygeneraattori on kytketty pois päältä, ja toinen tutkittava signaali poikkeuttaa sädettä vaakasuunnassa, toinen pystysuunnassa. XY-toimintoa käytetään yleisesti vaihe-eron mittaamisessa.



Kuva 4. XY-moodin toimintaperiaate: ensimmäisessä kuvassa y-akselille kuvautuva toisen kanavan signaali on maadoitettu (GD-kytkin pohjassa) ja oskilloskoopin näytöllä näkyy toisen kanavan signaali värähtelemässä x-tasossa. Toisessa kuvassa tilanne on päinvastoin. Kolmannessa molemmat signaalit näkyvät yhtä aikaa ja kanavien signaalit kullakin ajanhetkellä t kuvautuvat yhdeksi xy-tason pisteeksi.

3 Lyhyesti sähköisistä komponenteista ja vaihe-erosta

Ominaiskäyrä on kuvaaja, joka esittää sähköisen komponentin läpi kulkevan virran I riippuvuutta komponentin päiden välille kytkettyyn jännitteeseen U .

Diodi on komponentti, joka päästää virran kulkemaan vain yhteen suuntaan. Estosuuntaan kytketyn diodin läpi ei siis kulje virtaa. Päästösuuntaan kytketyn diodinkin läpi alkaa kulkea virtaa vasta, kun jännite saavuttaa tietyn arvon, ns. kynnyksjännitteen. Tämän jännitteen yläpuolella diodi käyttäytyy samaan tapaan kuin vastus, ts. sen ominaiskäyrä on lineaarinen.

Vaihtovirtapiirissä vastus käyttäytyy samaan tapaan kuin tasavirtapiirissä. Vastus vaikuttaa ainoastaan piirissä kulkevan virran amplitudiin, ei sen vaiheeseen. Kela ja kondensaattori sen sijaan aiheuttavat vaihe-eron virran ja jännitteen välille. Kelassa jännite saavuttaa huippunsa ennen virtaa ja jännitteen ja virran välille syntyy 90° vaihe-ero. Kondensaattorissa syntyvä vaihe-ero on -90° eli jännitteen huippuarvo on virtaa jäljessä. Kelan ja kondensaattorin aiheuttama kokonaisvaihe-ero riippuu komponenttien reaktansseista.

4 Mittaukset

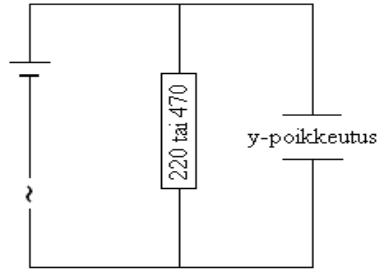
Työ suoritetaan tekemällä seuraavat tehtävät. Kysy assistentilta valmista kaavaketta mittausten avuksi. Lisäohjeita voit etsiä lähdekirjallisuudesta. Erityisesti laitteiden ohjekirjat voivat olla hyödyllisiä. **HUOM!** Työohje on kirjoitettu Hameg HM303-6 -oskilloskooppia. Työssä voi myös käyttää digitaalista oskilloskooppia esim. siten, että työparista toisella on analoginen ja toisella digitaalinen oskilloskooppi käytössä. Useassa tehtävässä käytetään myös yleismittareita.

Tehtävät:

- **Tasajännitteen mitta.** Mittaa litteän ja pyöreän pariston sähkömotoriset voimat oskilloskoopilla ja digitaalisella jännitemittarilla. Tulokset ilmoitetaan virheineen. (Yleismittareiden jännitemittausten epätarkkuudet löydät yleismittareiden ohjeista.) Oskilloskoopin sisäänmenon tulee olla DC-asennossa.
- **Vaihtojännitteen mitta.** Käytä noin 5 V:n jännitettä (keltainen muuntaja, jossa lukee “muuntosähkö”). Ennen varsinaisen mittauksen suorittamista, vastaa perustellen, kannattaako vaihtojännitteen jaksonajan määrittämiseen käyttää useita vai vain yhtä jaksoa. Mistä kohtaa jaksoa sen pituus kannattaa määrittää ja miksi? Miten jaksonajan määrittäminen saadaan mahdollisimman tarkaksi oskilloskoopin avulla? (Vihje: Kokeile tässä yhteydessä SLOPE-kytkimen eri asentoja ja LEVEL-säätimen käyttöä. Ne voivat osoittautua hyödyllisiksi jaksonajan määrittämisessä.) Selvitä oskilloskoopilla vaihtojännitteen jaksonaika ja taajuus virheineen. Jaksoa luettaessa hyödynnä koko näytön leveys! Mittaa taajuus myös digitaalisella yleismittarilla.

Mittaa vaihtojännitteen huippuarvo U_{max} ja tehollisarvo U_{eff} virheineen oskilloskoopilla sekä digitaalisella jännitemittarilla.

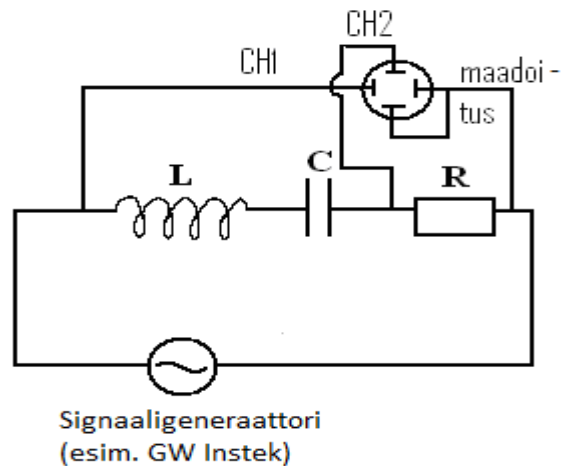
- **Vaihto- ja tasajännite AC-, DC- ja GD-toiminnoilla.** Käytä vaihtojännitelähdettä ja litteää paristoa sekä alla olevaa kytkentää. Kokeile oskilloskoopissa kytkinten AC/DC ja GD eri asentoja. Mitä tapahtuu ja miksi? Piirrä kuvat signaalista eri toiminnoilla.



- Liipaisumoodit.** Kokeile liipaisuun liittyviä AUTO- ja NORMAL-moodeja sinimuotoisella signaalilla, jonka tuot oskilloskoopin sisäänmenoon. Signaalin saat joko signaaligeneraattorista tai muuntajasta (keltainen muovikotelo, jossa lukee “muuntosähkö”). Aseta oskilloskooppi NORMAL-moodiin (MODE NM), ja säädä liipaisu LEVEL-säätimestä niin, että saat oskilloskoopin näytölle kuvan siniaallosta. Voit joutua säätämään myös oskilloskoopin jännitealuetta ja pyyhkäisynopeutta. Piirrä kaavakkeessa olevaan ruudukkoon kuva näytöllä näkyvästä signaalista ja merkitse liipaisutaso piirtämäsi kuvaan. Tapahtuuko liipaisu aallon nousevasta vai laskevasta osasta? Vaihda SLOPE-kytkimen asentoa, piirrä tilanteesta uusi kuva ja merkitse siihenkin liipaisutaso. Saatuasi siniaallon näkymään näytöllä nosta liipaisutaso, kunnes se on tasolla, jota sisäänmenosignaali ei koskaan saavuta. Mitä tapahtuu, kun liipaisutaso käännetään näin ylös? Miksi? Piirrä kuva signaalista juuri ennen tämän tason saavuttamista. Suorita sitten seuraava koe: Kun kuva häviää näkyvistä NORMAL-moodissa, vaihda oskilloskooppisi AUTO-moodiin muuttamatta liipaisutaso. Mitä tapahtuu? Kokeile vielä, mitä tapahtuu, kun käännät AUTO-moodissa LEVEL-kytkintä ääriasennosta toiseen molemmilla SLOPE-kytkimen asennoilla. Millaisia seikkoja huomaat?
- Vaihe-ero LRC-piirissä.** Määritä LRC-piirissä (ks. kytkentäkaavio alla) muodostuva vaihe-ero taajuudella $f = 180 \text{ Hz}$. Vaihe-eron saat selville mittaamalla kaksikanavamoodissa kahden signaalin (vastuksen yli olevan jännitteen ja kaikkien komponenttien yli olevan jännitteen) saman vaiheen etäisyyden toisistaan. Käytä komponentteina mittauksissasi $C = 1 \mu\text{F}$, $R = 220 \Omega$ ja L väliltä $170 - 350 \text{ mH}$. Vaihe-eron voit laskea yhtälöstä (1)

$$\varphi = \frac{\Delta t}{T} 360^\circ, \quad (1)$$

missä Δt on eri signaalien samojen vaiheiden erotus aika-akselilla ja T on jaksonaika.

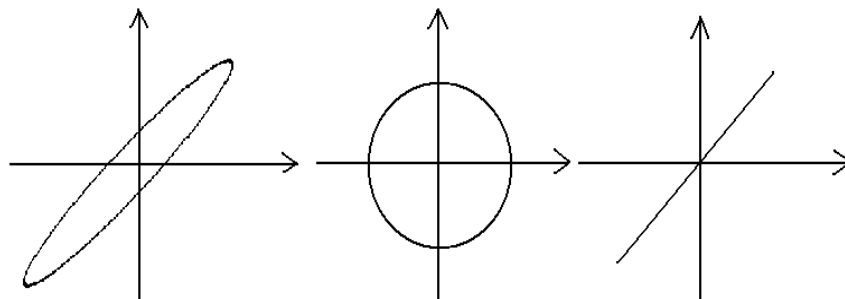


- **LRC-piirin vaihe-ero XY-moodilla.** Määritä vaihe-ero käyttämällä oskilloskoopin XY-moodia. Käytä komponentteina $C = 1 \mu\text{F}$, $R = 220 \Omega$ ja L väliltä 170 - 350 mH (ks. kytkentäkaavio yllä), ja ota signaaligeneraattorista vaihtojännite, jonka taajuus on $f = 180 \text{ Hz}$.

Edellisessä tehtävässä vaihe-ero määritettiin käyttämällä kaksikanavatoimintoa, joka näyttää yhtä aikaa molempien kanavien signaalit ajan funktiona ($x(t)$ ja $y(t)$). XY-moodissa toisen kanavan signaali näkyy toisen funktiona, ts. näytölle saadaan käyrä $y = f(x)$, joka on parametrimuodossa ajan t suhteen:

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \end{cases}$$

Tämän LRC-piirin tapauksessa XY-moodissa näytölle muodostuva kuva on vino ellipsi. Hamegin ohjekirjassa on selitetty, miten ellipsistä voidaan määrittää vaihe-eroja, jotka ovat korkeintaan 90 astetta.



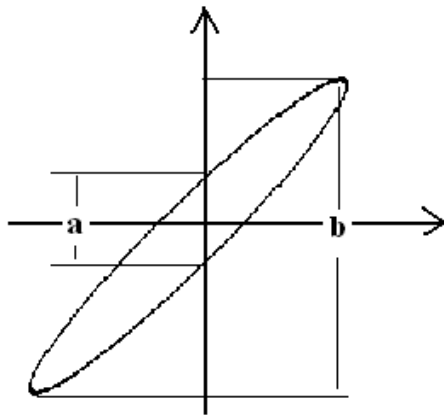
Kuva 5. Vaihesiirtoja kuvaavat kuviot oskilloskoopilla. Ensimmäisessä kuvassa vaihesiirto on 45° , toisessa 90° ja kolmannessa 0° .

Ellipsistä mitataan kuvan 6 mukaisesti pituudet a ja b . Näiden pituuksien ja vaihe-eron välillä on yhtälö

$$\sin \varphi = \frac{a}{b} \quad (2)$$

eli

$$\varphi = \arcsin \frac{a}{b}. \quad (3)$$



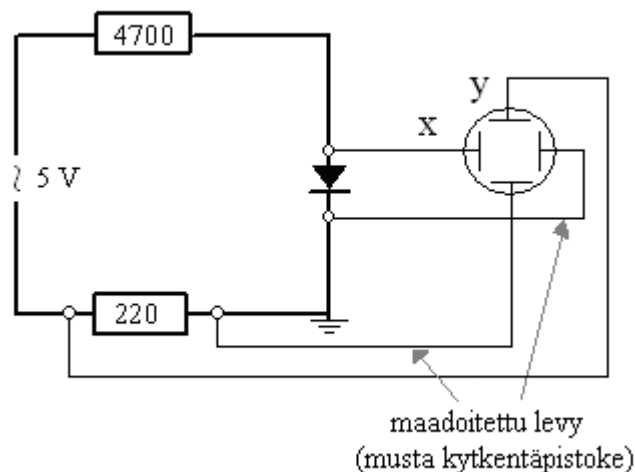
Kuva 6. Vaihe-eron määrittäminen oskilloskoopin xy-toiminnolla

Määritä näytöllä näkyvästä kuvasta pituudet a ja b ja laske käyttämäsi LRC-piirin vaihe-ero käyttämällä yhtälöä (3).

- **Diodin koestaminen ja ominaiskäyrä.** Havainnollistetaan diodin ominaiskäyrää oskilloskoopilla käyttämällä oskilloskooppia xy-piirturina. Mitattavana diodina on Si-diodi. Muita mittauksessa tarvittavia komponentteja ovat $4,7 \text{ k}\Omega$ ja 220Ω vastukset sekä noin 5 V vaihtojännitelähde, jonka ulostulos kelluvat (esim. EDU-LAB - signaaligeneraattori tai muuntaja). Tee alla olevan kuvan mukainen kytkentä. Oskilloskoopin x-sisäänmenolla seurataan diodin päiden välille syötettyä jännitettä ja y-sisäänmenolla diodin läpi kulkevaa virtaa. Koska oskilloskoopilla mitataan vain jännitettä, muutetaan virtamittaus jännitemittaukseksi tarkastelemalla 220Ω vastuksen päiden välistä jännitettä. Tarkista kummankin sisäänmenon nollakohta oskilloskoopin GD-asennolla ja määritä tämän jälkeen Si-diodin kynnysjännite virheineen

oskilloskoopin piirtämän kuvan avulla. Kynnysjännite luetaan kuvaajan lineaarisen osan jatkeen ja x- akselin leikkauspisteestä. Huomaa, että oskilloskoopin sisäänmenojen on tässä mittauksessa oltava **DC-asennossa**. Miksi? (Jos et tiedä syytä, niin kokeile AC-toiminnon vaikutusta saatavaan ominaiskäyräkuvaan.) Miksi mittaus ei onnistu edellisen tehtävän signaaligeneraattorilla?

Huom. Oskilloskoopin x- ja y-kanavilla on yhteinen maa. Tämän vuoksi kytkentä täytyy tehdä juuri kuvassa esitetyllä tavalla. Jos oskilloskoopin x- ja y-kanavien maat kytketään piirissä eri kohtiin, mittaus ei onnistu. Miksi? (Jos et tiedä syytä, niin kokeile tehdä mittaus siten, että x- ja y-kanavien maat ovat eri kohdassa piiriä. Mitä havaitset? Pyydä assistentilta apua, jos et kokeilujen ja omien pohdintojesi pohjalta tiedä vastausta kysymykseen.) Käytetystä mittaustavasta johtuen 220Ω vastuksen yli mitatun jännitteen napaisuus on väärä, mutta sen voi korjata painamalla oskilloskoopin y-kanavan INV(ert) napin sisään.



5 Tulosten käsittely

Työstä ei tehdä työselostusta, vaan palautetaan mittaaskaavake kaikki tehtävät tehtyinä. Virhearviot määritetään vain pyydetyille suureille.