

FYSP107 / K3 SÄHKÖSUUREIDEN MITTAAMINEN YLEISMITTARILLA

Työn tavoitteita

- oppia tuntemaan digitaalisen yleismittarin suorituskyvyn rajat
- oppia yleismittareiden oikea ja rutiininomainen käyttö
- tutustua erilaisiin menetelmiin, jotka soveltuvat pienten, keskisuurten ja suurten vastusten mittaamiseen

Sähköisiin ilmiöihin liittyvissä laboratoriotöissä yleismittareita käytetään lähestulkoon jatkuvasti. Niiden antamiin lukemiin ei pidä kuitenkaan luottaa sokeasti, vaan mittareiden toimintaa on hyvä tuntea tarkemmin. Tämän työn päätarkoituksena on tutustuttaa digitaalisten yleismittareiden käytön tärkeimpiin rajoitteisiin. Tämän vuoksi työssä saattaa tulla vastaan tilanteita, joissa mittarit eivät ”toimi kunnolla”. Tämän työn jälkeen jokainen osaa toivottavasti välttää digitaalisten yleismittareiden käyttöön liittyvät pahimmat karikot.

Toisena pääasiana työssä on yleismittareiden oikeaoppisen käytön harjoittelu eli mittarin oikea kytkeminen tutkittavaan piiriin ja oikea mitta-alueen valinta. Sähköisten kytkentöjen ja mittausten tekeminen saattavat monilla olla melko hataralla pohjalla, sillä lukiossa kokeellinen työskentely on usein melko vähäistä. Tässä työssä tehtävät kytkennät ja mittaukset ovat tarkoituksella yksinkertaisia, jotta vähäiset taustakokemukset eivät tekisi tarpeetonta kynnystä työn onnistuneelle suoritukselle.

Työssä tutustutaan lisäksi useisiin vastusmittauksen menetelmiin ja niiden käytön mahdollisiin rajoitteisiin.

Tähän työhön ei liity laskuharjoitustehtävää. Kuitenkin yleismittareiden ohjekirjoihin kannattaa tutustua jo ennakolta – viimeistään kuitenkin tämän työn suorituksen aikana. Ohjekirjat löytyvät työosastolla olevasta kansioista.

1 Yleistä

1.1 Yleismittarit

Yleismittareilla (sekä digitaalisilla että analogisilla) voidaan mitata tasajännitettä, tasavirtaa, vaihtojännitettä, vaihtovirtaa ja resistanssia. Useimmilla digitaalisilla yleismittareilla on mahdollista mitata myös taajuutta ja määrittää diodin kynnysjännite. Lisäksi joillakin mittareilla voidaan mitata esim. lämpötilaa, kapasitanssia tai transistorin virtavahvistusta. Tässä työssä tutkittavana mittarina on digitaaliyleismittari Finest 703 (tai vastaava Unit-58).

Jännitettä yleismittarilla mitattaessa on huomattava, että yleismittari näyttää joko tehollista arvoa (ks. Young & Freedman, 11th tai 12th ed. kappaleen 31.1 loppu tai Randal D. Knight kappale 36.6), tai joissain tapauksissa jännitteen keskiarvoa. Tämä pätee sekä analogisiin että digitaalisiin yleismittareihin. Yleensä mittarit on vaihtovirtoja ja -jännitteitä mitattaessa kalibroitu tehollisarvoille, jolloin asteikko pätee vain sinimuotoiselle signaalille ja tällöin jännitteen tehollisarvolle U_{eff} pätee $U_{\text{eff}} = U_0 / \sqrt{2}$, missä U_0 on jännitteen huippuarvo. Muilla aaltomuodoilla oikea tehollisarvo voidaan laskea, mikäli aaltomuoto tunnetaan. Useimmiten AC-mittauksissa tasajännite- tai virtakomponentti (DC) ei vaikuta mitattavaan signaaliin. Tällöin sanotaan, että mittari on AC-kytketty. Tässä työssä käytettävät mittarit ovat AC-kytkettyjä. On myös olemassa mittareita, jotka mittaavat koko signaalin (DC + AC).

Digitaaliset yleismittarit ovat helppokäyttöisiä ja niiden miellyttävä piirre on digitaalisen näytön helppolukuisuus. Jännitettä mitattaessa on kuitenkin huomattava, että digitaalisten yleismittareiden toiminta perustuu näytteenottoon. Niiden näyttämä on yleensä kalibroitu sinimuotoiselle vaihtojännitteelle ja 50 Hz:n taajuudelle, joten niiden näyttämä on virheellinen vaihtojännitteen muodon ja taajuuden poiketessa tästä. Digitaalimittarin kritiikitön käyttö vaihtojännitteiden mittaamiseen voi pahimmillaan johtaa virheellisiin tuloksiin. Erityisesti sellaiset vaihtojännitteet, jotka ovat samaa luokkaa mittarin näytteenottotaajuuden kanssa, saavat digitaalimittarin täydellisesti sekaisin. Analogisten mittareiden näyttämän taajuusriippuvuus on oleellisesti vähäisempi, joten niiden käyttö on suositeltavaa erityisesti suuritaajuisia signaaleja mitattaessa.

1.1.1 Digitaalinen yleismittari (esim. Finest 703)

Esimerkkinä oleva Finest 703 on kolmen ja kolmen neljäsosa numeron yleismittari (näytön suurin mahdollinen lukema 4000), jonka ohjekirja löytyy työosastolta.

Digitaalimittarin merkittävimmät erot analogiamittariin nähden ovat:

- jännite- ja virta-asteikot ovat digitaalimittareissa huomattavasti karkeammin porrastetut
- jännitemittauksissa digitaalimittarien sisäinen resistanssi on hyvin suuri (megaohmeja, kun se analogiamittareilla on yleensä kymmeniä tai satoja kilo-ohmeja)
- digitaalimittarien sisäinen tarkkuus ja lukematarkkuus ovat yleensä selvästi parempia kuin analogiamittareilla
- digitaalimittarilla mitattaessa suurilla taajuuksilla saattaa olla ongelmia, joita analogisella mittarilla mitattaessa ei juurikaan ole

Digitaalimittarissa jännite- ja virtamittauksissa alempi potentiaali kytketään negatiiviseen naparuuviin (COM). Toinen johdin kytketään mitattavaa suuretta (ja virtaa mitattaessa valittua mittausaluetta) vastaavaan kohtaan. Jos kytkennän tekee ”väärinpäin”, mittausarvoista tulee negatiivisia, mutta niiden itseisarvo ei muutu. Jännitettä mitattaessa mittari kytketään rinnan tutkittavan piirin osan kanssa ja virtaa mitattaessa sarjaan.

Yleismittarit käyttävät sisäistä virtalähdettä (paristo), joka saatetaan joutua pidemmissä mittauksissa vaihtamaan. Mittari ilmoittaa pariston tehon heikkenemisestä – näyttöön tulee tällöin esim. Finest 703 -mallissa pariston kuva. Joissain muissa malleissa pariston loppumisesta varoittaa teksti ”BAT” tai ”Battery”. Kannattaa huomata, että mittari saattaa toimia epäluotettavasti, kun paristo on loppumaisillaan.

HUOM! Digitaalimittarin virtamittauksissa on tärkeää käyttää oikeaa mittausaluetta. Pienemmällä alueella (mA/μA-skaala) on usein vain melko pieniä virtoja (joissain mittareissa 400-500 mA) kestävä sulake, joka rikkoontuu, jos tätä suurempia virtoja mitataan tällä toiminnolla. Tämän jälkeen ko. alue ei toimi ennen sulakkeen vaihtamista.

1.2 Vastusten mittaus

Pienten vastusten mittaus

Pieniä, resistanssiltaan alle kymmenen ohmin vastuksia mitattaessa yhdysjohtimien resistanssin ja liitosresistanssin vaikutus mittaustulokseen voi kasvaa merkittäväksi. Pieniä vastuksia mitattaessa ns. nelipistemenetelmä eliminoi tehokkaasti haitallisten johdin- ja ylimenoresistanssien vaikutusta.

Pienten vastusten mittaamiseen voidaan käyttää myös voltti-ampeeri-menetelmää ja digitaaliyleismittaria. Johtimien ja liitosten resistanssit vaikuttavat tällöin kuitenkin tuloksiin sitä enemmän, mitä pienemmästä vastuksesta on kyse.

Keskisuurten vastusten mittaus

Keskisuurten (10Ω - $10 \text{ k}\Omega$) vastusten mittaaminen on yleensä paljon helpompaa kuin pienten, koska johtimien ja liitosten resistanssien vaikutus on suhteellisen pieni. Tarkkaan mittaukseen soveltuvat kaikki kappaleessa 1.2 mainitut menetelmät.

Suurten vastusten mittaus

Suurten (yli kymmenen kilo-ohmin) vastusten mittauksessa ei enää tarvitse ottaa lainkaan huomioon ehjien yhdysjohtimien eikä liitosten resistansseja, sillä nämä ovat mitättömän pieniä verrattuna varsinaiseen mitattavaan resistanssiin. Mittauksessa voidaan digitaaliyleismittarin ohella käyttää eristysresistanssimittaria.

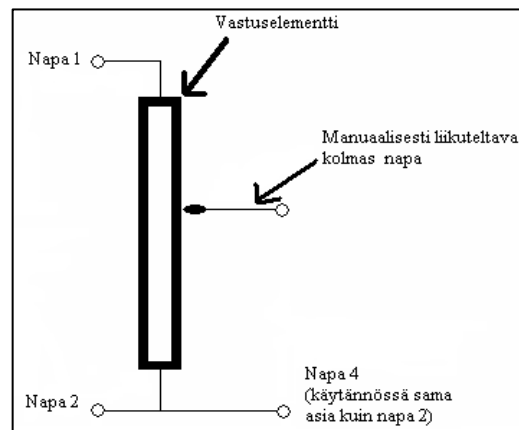
1.2.1 Potentiometri

Potentiometri on (tyypillisesti) kolminapainen elektroniikan komponentti, jonka resistanssia voidaan säätää käsin. Se sisältää resistiivisen vastuselementin, joka kytketään virtapiiriin kolmesta kohdasta (navasta). Kaksi navoista on kiinteitä, ja ne sijaitsevat vastuselementin päissä, ja kolmas napa on manuaalisesti liikuteltavissa haluttuun kohtaan vastuselementtiä (Kuva 1). Näin ollen siis kolmas napa ikään kuin jakaa vastuselementin

kahteen osaan. Joissakin potentiometreissä on vielä neljäskin napa, mutta kuvasta huomaa, että käytännön kannalta se on sama asia kuin napa 2.

Kolmannen navan sijoituspaikalla voidaan vaikuttaa siihen, kuinka suuri osa vastuselementin resistanssista tulee ulostulopiirin käyttöön. Jos esimerkiksi kuvassa kolmas napa olisi liikutettu aivan vastuselementin ylälaitaan, ulostulopiirin resistanssi olisi koko vastuselementin resistanssi. Jos kolmas napa olisi täsmälleen keskellä vastuselementtiä, ulostulopiirin resistanssi olisi 50% vastuselementin resistanssista jne. Eli pähkinänkuoressa: liukusäätimen paikka vaikuttaa siihen, montako prosenttia koko vastuselementin resistanssista tulee ulostulopiirin resistanssiksi.

Tässä lapputyössä tutustutaan Helipot-merkkisiin potentiometreihin.



Kuva 1: Potentiometrin kytkentäkaaviollinen idea

1.2.2 Mittausmenetelmät

Voltti-ampeeri-menetelmä

Vastuksen kautta kulkevan virran ja sen yli vaikuttavan jännitteen mittaaminen samanaikaisesti johtaa suhteellisen tarkkoihin tuloksiin laajalla mittausalueella. Kuva 2 esittelee kaksi tyypillistä voltti-ampeeri-menetelmään liittyvää kytkentää: lyhytkytkenän ja pitkäkytkennän.

Lyhytkytkenässä vastuksen R_x suuruus saadaan yhtälöstä

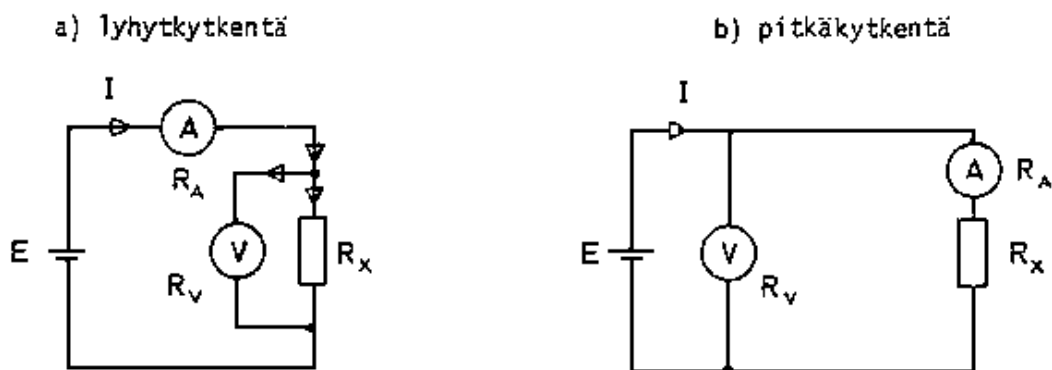
$$R_x = \frac{U}{I - I_V} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_V}}. \quad (1)$$

Kun R_x on pieni eli $R_x \ll R_V$, yhtälö (1) yksinkertaistuu muotoon $R_x = U/I$.

Vastaavasti pitkäkytkennän tapauksessa primäärisestä mittaustuloksesta on vähennettävä ampeerimittarin sisäinen resistanssi:

$$R_x = \frac{U - U_A}{I} = \frac{U - R_A I}{I} = \frac{U}{I} - R_A. \quad (2)$$

Kun R_x on suuri eli $R_x \gg R_A$, virtamittarin sisäistä vastusta ei tarvitse ottaa huomioon. Jännitemittauksessa digitaalisten yleismittareiden sisäinen vastus on tyypillisesti 10 M Ω , kun taas virtamittauksessa sisäinen vastus riippuu valitusta herkkyysalueesta (0.01-100 Ω herkkyysalueesta ja mittarista riippuen).

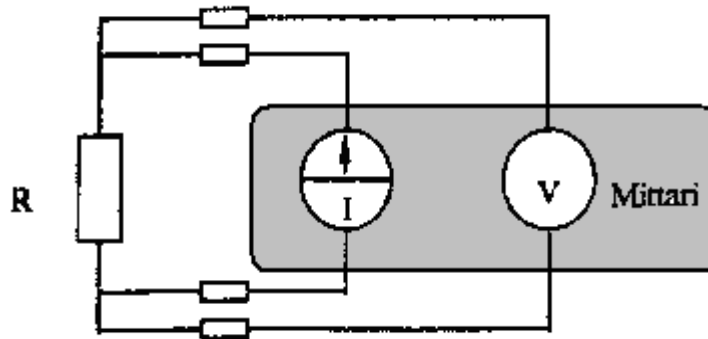


Kuva 2: Resistanssin mittaaminen lyhyt- ja pitkäkytkennällä.

Kaksipiste- ja nelipistemenetelmät vastusmittareissa

Resistanssin suora mittaus yleismittarilla on helppokäyttöinen ja nopea mittaustapa, kun tarkkuusvaatimukset eivät ole kovin suuria. Tällöin käytetään ns. kaksipistemetelmää, jossa (digitaalinen) yleismittari tuottaa sisäisen jännitelähteensä avulla tietyn vakiosuuruisen sähkövirran tutkittavan vastuksen läpi, mittaa virran aiheuttaman jännitehäviön ja muuntaa tuloksen resistanssiksi. Johdin- ja liitosresistanssit vaikuttavat tässä mittaustavassa saatavaan tulokseen.

Tietyissä laadukkaammissa mittareissa on mahdollista käyttää ns. nelipiste-menetelmää. Siinä vastusmittarin ja tutkittavan vastuksen välille kytketään kahdet johtimet (Kuva 3). Toisten johtimien kautta mittari syöttää vakioidun, johdin- ja ylimenoresistansseista riippumattoman virran, ja toisten johtimien kautta se mittaa tutkittavan vastuksen yli olevan jännitteen. Koska jännite mitataan suoraan vastuksen navoista, eivät johtimet aiheuta juuri lainkaan systemaattista virhettä toisin kuin kaksipistemenetelmässä (miksi?).



Kuva 3: Nelipistemittaukseen liittyvä kytkentä

2 Mittaukset

Laitteet:

- kaksi digitaalista yleismittaria FINEST 703 (tai Unit-58)
- tasajännitelähde, esim. MASCOT 719 tai PHYWE
- kytkentälevy ja seuraavat vastukset: $220\ \Omega$, $470\ \Omega$, ”pieni” (noin $10\ \Omega$), ”tuntematon” ja ”suuri” vastus
- $100\ \Omega$:n helipot-säädin
- digitaalipöytämittari GOOD WILL GDM-8055 tai TECSTAR DL2051 (elektroniikan labraan sitä aina lainaavat)
- Pikoampeerimittari Keithley Autoranging Pico-ammeter (tämäkin löytynee elektroniikan labrasta)
- Tasajännitelähde (esim. $4,5\ \text{V}$ paristo)

Tehtävä 1. Jännitteen mittaaminen virheineen

Tee yksinkertainen virtapiiri, jossa on kytketty sarjaan jännitelähde sekä $220\ \Omega$ ja $470\ \Omega$ vastukset. Säädä DC-jännitelähteen jännitteeksi noin $12\ \text{V}$ (virranrajoitin voi olla esim. noin $0,4\ \text{A}$:ssa) ja mittaa $470\ \Omega$ vastuksessa tapahtuva jännitehäviö. Määritä myös mitatun jännitteen virhe.

Tehtävä 2. Virran mittaaminen virheineen

Käytä samaa virtapiiriä kuin tehtävässä 1 (jännitelähteen napajännite edelleen noin $12\ \text{V}$), mutta mittaa jännitehäviön sijaan piirissä kulkeva virta. Määritä myös mitatun virran virhe.

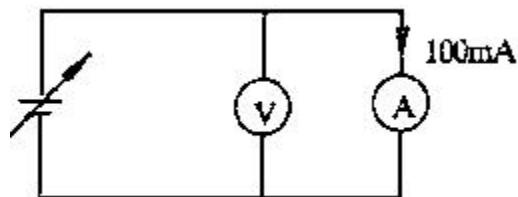
Tehtävä 3. Yleismittarin sisäinen resistanssi

Määritä tehtävissä 1 ja 2 käyttämäsi yleismittarin sisäinen resistanssi sekä tasavirran että tasajännitteen mittaustoiminnoissa mittarin eri mittaalueilla (käytä apuna toista yleismittaria).

Tehtävä 4. Virtamittauksessa tapahtuva jännitehäviö

Mittaa virtamittarien sisäisestä resistanssista johtuva jännitehäviö $100\ \text{mA}$:n virralla (säädä virta DC-lähteen virranrajoittimen avulla). Suorita mittaus kytkemällä tutkittava mittari virtamittariksi ja kytkemällä sen rinnalle toinen mittari jännitemittariksi kuvan 4 osoittamalla tavalla. Mitattujen arvojen virheitä ei tarvitse määrittää. Kokeile, miten virtamittarin asteikko (mittausalue) vaikuttaa jännitehäviöön. Miten selität tehdyt havainnot?

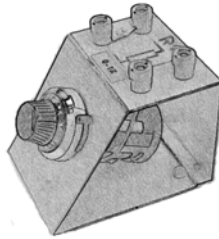
HUOM! Aseta virta ensin nolaksi DC-lähteen virranrajoitimesta ja kasvata sitä vähitellen.



Kuva 4. Virtamittarilla on tietty sisäinen resistanssi, joten siinä tapahtuu jännitehäviö.

Tehtävä 5. Helipot-säätövastukseen tutustuminen

Tutustu työssä käytettävän säätövastuksen (helipot-säädin (Kuva 4)) käyttöön. Aseta vastukseen joku tietty vastuslukema, ja tutki yleismittarilla, mihin kohtiin johtimet täytyy kytkeä, jotta kyseinen vastusarvo saadaan ulos. (**Huom.** Helipot-säätimen käyttö on osoittautunut monille ongelmalliseksi. Osaatko selittää, miksi helipotin tapauksessa muista mahdollisista kytkentäpisteistä saadaan juuri sellaiset vastuslukemat kuin mitattaessa käy ilmi?)



Kuva 4: Helipot-säädin

Tehtävä 6. Voltti-ampeeri -menetelmä

Määritä ”tuntemattoman” vastuksen resistanssi virheineen voltti-ampeeri-menetelmällä. Mitattavan vastuksen resistanssi on muutaman kymmenen tai muutaman sadan ohmin suuruusluokkaa. Päättele kappaleen 1.2.2 perusteella, onko järkevämpää käyttää lyhyt- vai pitkäkytkentää. Säädä jännitelähteen lähtöjännite muutamaan volttiin. Luonnollisesti pariston lähtöjännitettä ei tarvitse säätää.

Tehtävä 7. Resistanssin mittaaminen yleismittarilla

Mittaa ”tuntemattoman” vastuksen resistanssi digitaaliyleismittarilla¹. Ota lukema ylös ja määritä sen virhe. Mikä on helpoin tapa arvioida mittajohdoista aiheutuva systemaattinen virhe?

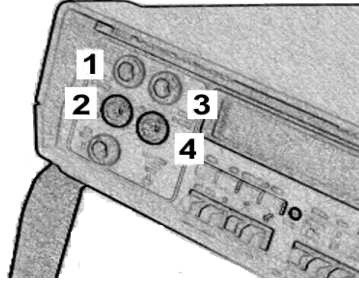
Tehtävä 8. Resistanssin mittaus digitaalipöytämittarilla

Mittaa saman ”tuntemattoman” vastuksen resistanssi digitaali-pöytämittarilla (Good Will8055 tai TECSTAR DL2051) sekä tavanomaisella kytkennällä (kaksipistekytkeä)

¹ **Huomaa**, että suoraa resistanssin määrittystä varten vastus on aina irrotettava mahdollisesta virtapiiristä. Muutoin mittari määrittää koko kytkennän resistanssin eikä pelkästään tutkittavan vastuksen resistanssia.

että nelipistekytkenällä. Onko tuloksissa mitään eroa? Mittaa vielä kaksipistekytkenällä kahden yhteen liitetyn johtimen resistanssi. Mitä havaitaan?

Kuvassa 6 on numeroitu GW-mittarin navat. Kaksipistemittauksessa yhdistetään johtimet napoihin 1 ja 2. Nelipistemittauksessa otetaan lisäksi kaksi johdinta, ja yhdistetään ne vastuksesta napoihin 3 ja 4. Mittauksen onnistumiseksi katso myös kuva 3.



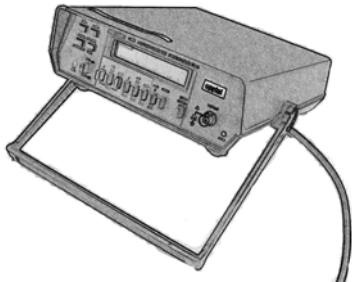
Kuva 6: Good Will 8055 -mittari

Tehtävä 9. Voltti-ampeeri –menetelmä mittarien resistanssit huomioon ottaen

Nyt, kun kaikki mahdolliset mittaustavat on opittu, tutkitaan kuinka paljon virhettä jännite- ja virtamittari aiheuttavat voltti-ampeeri –menetelmää käytettäessä sekä pitkä-että lyhytkytkenän osalta. Tässä kohtaa mittausta havaitaan myös viimeistään, valittiinko tehtävään 6 ”oikea” kytkentä mittauksia varten.

Mittaa työpisteessä olevan ”pienen” ja ”suuren” vastuksen resistanssi ensin sekä pitkä-että lyhytkytkenällä olettaen lyhytkytkenässä jännitemittarin resistanssi R_V äärettömäksi (1) ja pitkäkytkennässä virtamittarin resistanssi R_A nolaksi (2). Käytä pienen vastuksen kanssa virran mittaukseen Finest 703 –mittaria. ”Suuren” vastuksen kanssa joudut käyttämään Keithley –pikoampeerimittaria (kuva 7), koska paristojen jännite ei riitä tuottamaan kovin suurta virtaa suurella vastuksella. Kannattaa lisäksi suurta vastusta käytettäessä kytkeä lähdejännitteeksi toinenkin 4,5 voltin paristo sarjaan aiemmin käytetyn kanssa. Keithley-mittariin tarvitset myös BNC-liittimellisen välipalikan (kuva 8) kytkeäksesi sen virtapiiriin.

HUOM! Pienen vastuksen mittaaminen voltti-ampeeri –menetelmällä on hyvin tarkkaa puuhaa, joten varmista ennen virtapiirin kasaamista jokaisen käyttämäsi johtimen vastus GW-mittarilla. Hylkää armotta ne, joiden vastus on suurempi kuin $0,05 \Omega$.



Kuva 7: Keithley -pikoampeerimittari



Kuva 8: Pieni Tetriksen kääntöpalikka

Selvitä sitten kaksi- tai nelipistemittauksella (perustele laskuliitteessäsi, kumman valitsit ja miksi) sekä jännitemittarin että virtamittarin vastukset¹ käyttämälläsi mitta-alueilla ja ota nämä huomioon vastusten resistanssien määrittämisessä lausekkeissa (1) ja (2). Mitä huomaat?

HUOM2! Selvittäessäsi Keithley-pikoampeerimittarin resistanssia käytä yleismittaria. GW-mittari ja Keithley eivät oikein tahdo suostua yhteistyöhön, ja sitten kun näyttävätkin suostuvan, tulos on selvästi virheellinen.

3 Tulosten käsittely

Tulokset kirjataan valmiiksi laskettuina erilliselle lomakkeelle ja samalla vastataan esitettyihin kysymyksiin. Mittauspöytäkirja, johon on myös tehty tarvittavat virhelaskut (jotka eivät mahdu vastauslomakkeelle), liitetään vastauslomakkeen mukaan.