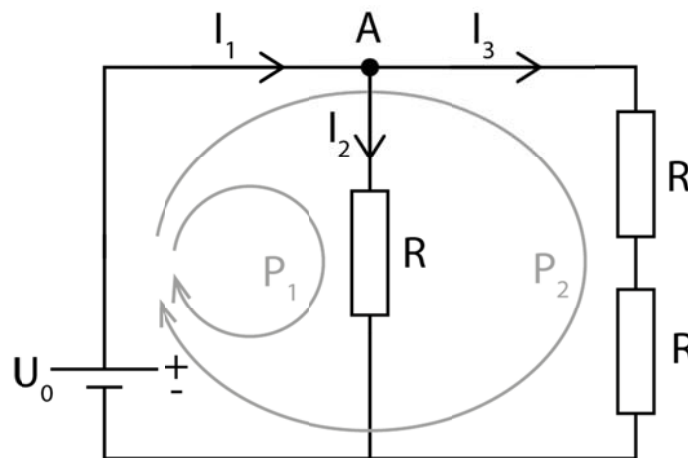


TASAVIRTAPIIRI

1 Johdanto

Jotta voidaan ymmärtää sähköisten tasavirtapiirien toimintaa, täytyy tuntea virran ja jännitteen käyttäytyminen piireissä. Tarkastellaan kuvan 1 mukaista tilannetta, jossa on esitetty yksinkertainen haaraantuva virtapiiri, ja erityisesti sen liitoskohtaa A. Virta I_1 tuo varausta liitoskohtaan A, kun taas virrat I_2 ja I_3 vievät varausta liitoskohdasta poispäin. Koska varaus pisteessä A säilyy, liitokseen tulevien virtojen summa täytyy olla yhtä suuri kuin siitä lähtevien virtojen summa. Tämä periaate on yleistettävissä Kirchhoffin virtalaiksi

$$\sum I = 0. \quad (1)$$



Kuva 1. Yksinkertainen haaraantuva virtapiiri.

Jännitteelle U voidaan myös muodostaa samankaltainen sääntö. Jos lähdetään mistä tahansa pisteestä ja kierretään virtapiiri summaten samalla matkalla havaitut jännite-erot, täytyy jännitteen olla jälleen sama kun palataan lähtöpisteeseen. Toisin sanoen suunnatusti yhteenlaskettujen jännite-erojen summan virtapiirin ympäri pitää olla nolla. Jokaiselle kuvan 1 kaltaiselle suljetulle silmukalle P_i on siis toteuduttava yhtälö

$$\sum U = 0. \quad (2)$$

Yhtälöissä (1) ja (2) on virran tai jännitteen suunta huomioitava. Esimerkiksi jos kuvassa 1 kierretään piiriä myötäpäivään, niin jännitelähteen yli oleva jännite-ero on positiivinen, mutta vastusten R yli se on negatiivinen. Tässä työssä tutkitaan erilaisia yksinkertaisia virtapiirejä.

1.1 Resistanssi ja resistiivisyys

Jos kytkemme jännite-eron U johdinkappaleen, esimerkiksi kuparitangon, ylitse, saamme aikaiseksi siinä kulkevan virran I . Tätä jännitteen ja virran riippuvuutta kuvataan resistanssilla R , joka on määritelty näiden suhteena eli

$$R = \frac{U}{I}, \quad (3)$$

jonka yksikkö on ohmi ($\Omega = \frac{V}{A}$). Resistanssi on kuitenkin kappaleen, kuten vaikkapa sähköisissä piireissä käytettyjen vastusten ominaisuus, ei materiaalin ominaisuus. Yleisempi materiaalin sähköjohtavuuskykyä kuvaava suure on resistiivisyys eli ominaisvastus ρ , joka määritellään sähkökentän ja virrantiheyden avulla. Oletetaan, että jossain johdinmateriaalissa vaikuttaa sähkökenttä \vec{E} , jolloin siinä kulkevalla virralla on virrantiheys \vec{j} . Tällöin sen resistiivisyys saadaan yhtälöstä

$$\rho = \frac{E}{j}. \quad (4)$$

Resistiivisyyden yksikkö on ohmimetri (Ωm) ja sen käänteisarvo on sähköjohtavuus σ . Metallien resistiivisyydet ovat luokkaa 10^{-6} – 10^{-8} Ωm .

Resistiivisyyden avulla voidaan määrittää esimerkiksi johdinlangan resistanssi. Tarkastellaan johdinlangaa, jonka pituus on L , poikkipinta-ala A ja jossa kulkee virta I . Kun langan päiden yli on jännite-ero U , voidaan sähkökenttä ja virrantiheys lausua muodossa

$$E = \frac{U}{L} \quad \text{ja} \quad j = \frac{I}{A}. \quad (5)$$

Huomioimalla yhtälöt (3–5), voidaan johtimen resistanssiksi ratkaista

$$R = \frac{\rho}{A} L. \quad (6)$$

Yhtälön (6) mukaan johdinmateriaalin resistiivisyys voidaan määrittää mittaamalla sen resistanssi, poikkipinta-ala ja pituus. Jos lanka on poikkileikkaukseltaan ympyrä ja sen halkaisija d tunnetaan, saa yhtälö (6) muodon

$$R = \frac{4\rho}{\pi d^2} L. \quad (7)$$

Työssä määritetään erään vastuslangan resistiivisyys mittaamalla siinä tapahtuvaa jännitehäviötä langan pituuden funktiona, kun virta on vakio.

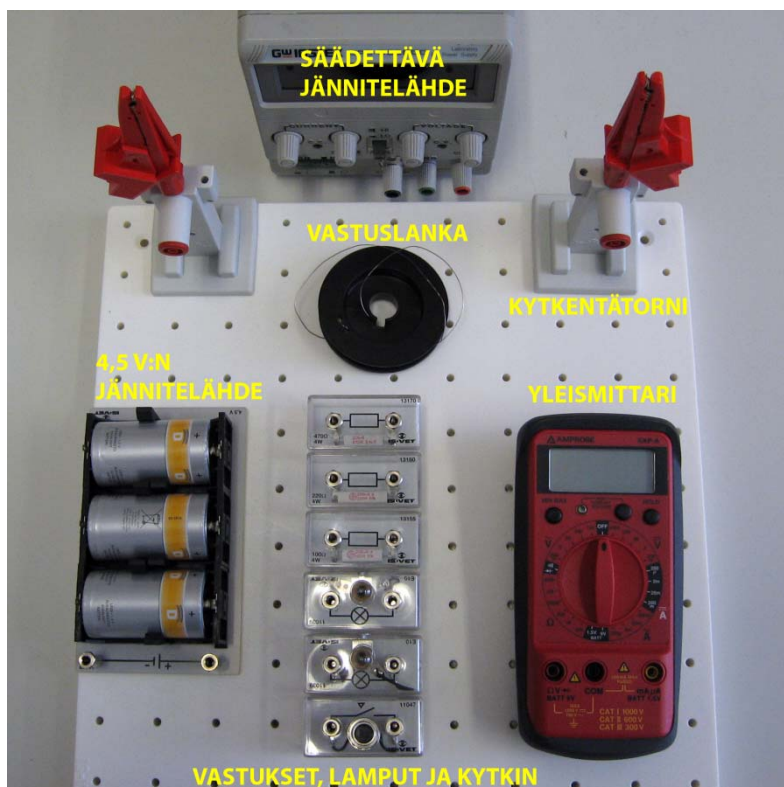
2 Tavoitteet

Työn tehtyään opiskelija

- osaa mitata yleismittarilla resistanssia, tasajännitettä ja tasavirtaa
- erottaa toistaan resistanssin ja resistiivisyyden
- kykenee tuottamaan mittaustuloksista kuvaajan sekä sovittamaan siihen suoran

3 Laitteisto

Työssä käytettävään laitteistoon (kuva 2) kuuluu kytkentäalusta, 4,5 V:n tasajännitelähde, säädettävä tasajännitelähde, kolme lamppua, painokytkin, yksi vastus (470Ω), kaksi kytkentätolppaa hauenleuoilla sekä kaksi kerää vastuslangaa (A ja B). Näillä toteutetaan erilaisia tasavirtapiirikytkentöjä.



Kuva 2. Työssä käytettävä mittauslaitteisto.

Lisäksi tarvitaan:

- *Metrimitta*
- *Työntömitta tai mikrometri*
- *Banaanijohtoja 5 kpl*
- *Hauenleuat yleismittarin johtoihin*

4 Esitehtävät

Tutustu työhön liittyvään teoriaan haluamastasi fysiikan oppikirjasta esim. [1–3], lue työhje läpi ja vastaa alla oleviin kysymyksiin vastauslomakkeeseen.

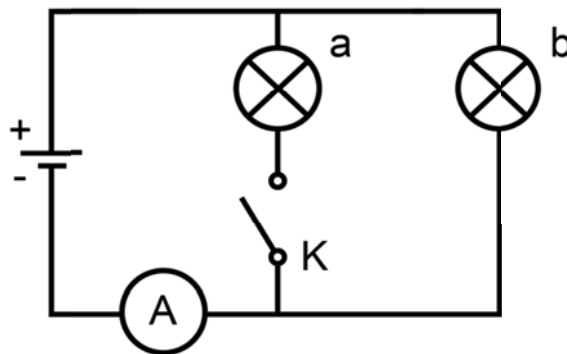
1. Mitä tarkoitetaan resistanssilla ja resistiivisyydellä?
2. Määritä Kirchoffin virta- ja jännitelait kuvan 1 esimerkille. Kirjoita Kirchoffin virtalaki pisteen A suhteen ja Kirchoffin jännitelaki silmukoille P_1 ja P_2 .
3. Työssä määritetään langan resistiivisyys ρ yhtälön (7) avulla piirtämällä resistanssia R langan pituuden L funktiona. Määritä yhtälön (7) riippuvuutta hyödyntäen yhtälö langan resistiivisyyden virhearviolle $\Delta\rho$, jossa esiintyy tämän suoran kulmakerroin ja sen virhearvio.

5 Mittaukset

Kaikki mittaustulokset ja kysymysten vastaukset kirjataan vastauslomakkeelle. On suositeltavaa käyttää lyijykynää. Vastauslomake palautetaan lopuksi assistentille.

5.1 Tasavirtapiirin käyttäytyminen

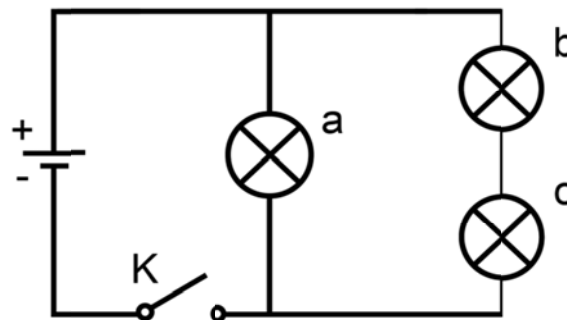
1. **Tee hypoteesi:** Tarkastele kuvan 3 mukaista kytkentää, jossa on kaksi identtistä lampua a ja b kytkettynä tasajännitelähteeseen. Tasajännitelähteen antamaa virtaa mitataan virtamittarilla. Kun kytkin K suljetaan, mitä tapahtuu mitattavalle virralle (kasvaa, pienenee, pysyy samana)? Kirjaa hypoteesisi vastauslomakkeelle. Perustele se lampujen a ja b läpi kulkevien virtojen sekä niiden yli olevien jännitehäviöiden avulla.



Kuva 3. Kohdan 5.1.1 kytkentäkaavio.

2. **Testaa hypoteesisi:** Tee kuvan 3 mukainen kytkentä käyttäen 4,5 V:n jännitelähdettä, kahta lampua, yleismittaria ja painokytkintä. Kokeile kytkimen vaikutusta. Kirjaa havaintosi vastauslomakkeeseen. Jos hypoteesisi poikkesi havainnoista, niin pohdi miksi.

3. **Tee hypoteesi:** Tarkastele kuvan 4 mukaista kytkentää, jossa on kolme identtistä lampua a, b ja c kytkettynä tasajännitelähteeseen. Kun kytkin suljetaan, lamput syttyvät, mutta mikä/mitkä lampuista palavat kirkkaimmin vai palavatko kaikki yhtä kirkkaasti? Kirjaa hypoteesisi vastauslomakkeelle. Perustele se lampujen a, b ja c läpi kulkevien virtojen sekä niiden yli olevien jännitehäviöiden avulla. Voit hyödyntää tässä esitehtävää 2.



Kuva 4. Kohdan 5.1.1 kytkentäkaavio.

4. **Testaa hypoteesisi:** Tee kuvan 4 mukainen kytkentä käyttäen 4,5 V:n jännitelähdettä, kolmea lampua ja painokytkintä. Kokeile kytkimen vaikutusta. Kirjaa havaintosi vastauslomakkeeseen. Jos hypoteesisi poikkesi havainnoista, niin pohdi miksi.

5.3 Vastuslangan resistiivisyys

1. **Tee hypoteesi:** Alla on kaaviokuva kahden vastuslangan poikkileikkauksesta (kuvat eivät ole mittakaavassa). Mitä voit sanoa niiden resistansseista, jos niistä mitataan samanpituiset pätkät lankaa?



Lanka A, $\varnothing = 0,2 \text{ mm}$

Lanka B, $\varnothing = 0,4 \text{ mm}$

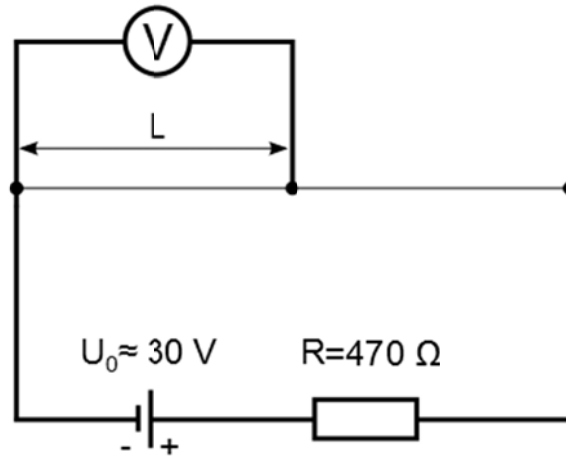
- a) Ohuemman langan resistanssi on puolet paksumman langan resistanssista
- b) Ohuemman langan resistanssi on neljäsosa paksumman langan resistanssista
- c) Resistanssit ovat yhtä suuret
- d) Paksumman langan resistanssi on puolet ohuemman langan resistanssista
- e) Paksumman langan resistanssi on neljäsosa ohuemman langan resistanssista

Kirjaa hypoteesisi vastauslomakkeelle perustelujen kera.

2. **Testaa hypoteesisi:** Ota esimerkin mukaiset vastuslangat (merkitty A ja B) ja mittaa niistä yleismittarilla samanpituisen pätkän resistanssit. Kirjaa mittaustuloksesi ja havaintosi vastauslomakkeeseen. Jos hypoteesisi poikkesi havainnoista, niin pohdi miksi.

5.4 Vastuslangan resistiivisyyden määrittäminen

1. Valitse jompikumpi vastuslangoista (A tai B).
2. Tee kuvan 5 mukainen kytkentä: Sijoita kytkentätornit alustalle mahdollisimman kauas toisistaan ja viritä valitsemasi vastuslanka kytkentätornien hauenleukojen välille. Varmista, että säädettävä jännitelähde on pois päältä ja kytke sitten lanka sekä 470Ω :n vastus sarjaan säädettävän jännitelähteen kanssa. Kytke banaanjohdot säädettävän jännitelähteen +/- napoihin (ei GND). Säädä jännitelähteen virtasäätimet (fine & coarse) maksimiinsa (kokonaan myötöpäivään) ja vastaavat jännitesäätimet nollaan (kokonaan vastapäivään).
3. Kytke yleismittari vastuslangan kanssa rinnan siten, että voit hauenleuan avustuksella siirtää toista mittapäätä lankaa pitkin etäisyydelle L .
4. Laita säädettävä jännitelähde päälle ja säädä jännite maksimiinsa (kokonaan myötöpäivään).
5. Mittaa jännitehäviö vastuslangassa sen pituuden funktiona noin kuudessa pisteessä.
6. Mittaa piirissä kulkeva virta: Sammuta säädettävä jännitelähde, mutta älä koske virta- tai jännitesäätimiin. Siirrä yleismittari sarjaan säädettävän jännitelähteen kanssa, mutta jätä piiri muuten ennalleen. Laita säädettävä jännitelähde takaisin päälle ja mittaa piirissä kulkeva virta. Sammuta lopuksi virtalähde.
7. Irrota vastuslanka ja mittaa sen halkaisija työntömitalla tai mikrometrillä. Arvioi halkaisijan virhe.
8. Tarkistuta mittaustuloksesi assistentilla. Sammuta säädettävä jännitelähde ja pura kytkennät.



Kuva 5. Vastuslangan resistiivisyyden määrittämiseen käytetty kytkentä.

6 Tulosten käsittely

Kirjoita tulokset vastauslomakkeeseen. Liitä mahdolliset erilliselle paperille tekemäsi laskut, sekä kuvaajat vastauslomakkeeseen.

1. Laske kohdan 5.4 mittaustuloksista resistanssi R pituuden funktiona. Piirrä resistanssi R pituuden L funktiona. Yhtälön (5) mukaisesti pisteiden tulisi osua suoralle.
2. Sovita pisteistöön suora ja määritä sille kulmakerroin virheineen. Määritä kulmakertoimen avulla vastuslangan resistiivisyys ρ virhearvioineen.
3. Tulosta piirtämäsi kuvaaja vastauslomakkeen liitteeksi.

7 Pohdittavaa

1. Olivatko kohdassa 5.1 mitaamasi virrat oletetun suuruiset? Mitkä tekijät voisivat selittää mahdolliset poikkeamat?
2. Yleismittarin virhe jätettiin huomioimatta kaikissa mittauksissa. Mitä suurusluokkaa se on käyttöohjeen mukaan työssä mitatuille jännitteille, virroille ja resistansseille?
3. Vertaa määrittämääsi resistiivisyyden arvoa kirjallisuuteen. Onko mittaustulos järkevää suurusluokkaa? Mitä materiaalia vastuslanka voisi olla resistiivisyyden perusteella?

Eri aineiden resistiivisyyksiä (20°C) [2]:

Al: $2,650 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$

Cu: $1,678 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$

W: $5,28 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$

Nikkelikromi: $107,5 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$

Konstantaani: $45,38 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$

Messinki: $6,08 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$

Lähteet

- [1] D. C. Giancoli, Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics 4th edition, International edition, Pearson Education, Inc, 2009.
- [2] Hugh Young, Roger Freedman, A. Lewis Ford: University Physics with Modern Physics. International Edition. 13. painos. Pearson Education, 2011.
- [3] Halliday, Resnick, Walker, Fundamentals of Physics Extended, Extended 9th edition, International Student Version, Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [4] Handbook of Chemistry and Physics, 56th edition, The Chemical Rubber Company.