

IIZF3010 Sovellettu Fysiikka, ryhmälaboratoriotyö IST4SE / E2 / A1
Kinnunen Karoliina, Kuru Anssi, Pihlainen Tommi, Vähämartti Pasi

Jyväskylän Ammattikorkeakoulu, IT-instituutti
IIZF3010 Sovellettu fysiikka, Syksy 2005, 4.5 ECTS
Opettaja Pasi Repo

Hallin ilmiö

Laatija - Pasi Vähämartti

Vuosikurssi - IST4SE

Tekopäivä 2005-9-14

Palautuspäivä 2005-9-28

LABORATORIOTYÖN KUVAUS

Tehtävän määrittely:

Tarkoitus on tutkia ja määrittää mittauksissa käytetyn puolijohteen tyyppi (p- tai n-tyyppi), sekä laskea Hall-vakio kokeellisesti mitattujen tulosten perusteella.

Tehtävän suorittamisen aikana tullaan mittaamaan Hall-jännitteen suuruutta, sekä kentän voimakkuutta erisuuruisia virtoja käyttäen. Tulokset kirjataan etukäteen tehtyyn mittauspöytäkirjaan (sivu 4, mittaustulokset ja liite 1, mittauspöytäkirja). Mitatuista arvoista piirretään kuvaaja (sivu 6, Hall-jännite magneettikentän funktiona), josta graafisesti määrittelemällä lasketaan suorien kulmakertoimet, sekä lasketaan näiden tietojen perusteella Hall-vakiot. Lopuksi Hall-vakioista lasketaan keskiarvo ja keskivirhe (sivu 5, laskujen tulokset).

Johdanto:

Vuonna 1897 Edwin Hall huomasi, että virrallisen johtimen ollessa kohtisuorassa magneettikentässä elektronien kulkurata muuttuu. Eli kun johtimeen kytketään jännite ja kohtisuoraan siihen magneettikenttä syntyy virransuunnalle ja magneettikentällä kohtisuora jännite, jota kutsutaan Hallin jännitteeksi. Myöhemmin tämän ilmiön huomattiin tapahtuvan myös puolijohteissa.

Tehtävässä käytetyt yhtälöt:

Kulmakertoimen (k) laskeminen:

$$k = \frac{\Delta U_H}{\Delta B_Z}$$

U_H = Hall-jännite B_Z = Magneettikentänvoimakkuus

Hall-vakion (R_H) laskeminen:

$$|R_H| = k \cdot \frac{d}{I_C} = \frac{\Delta U_H}{\Delta B_Z} \cdot \frac{d}{I_C}$$

U_H = Hall-jännite B_Z = Magneettikentänvoimakkuus d = Volframijohtimen paksuus I_C = Volframijohtimen läpi menevä virta

Hajonnan (σ_{R_H}) laskeminen:

$$\sigma_{R_H} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i^2}$$

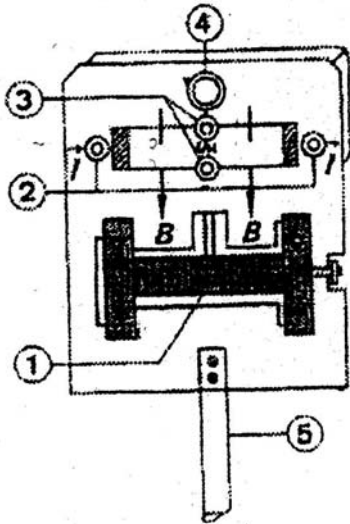
N = Mittaustulosten lukumäärä d_i^2 = Keskiarvon poikkeamien neliöiden summa

Keskiarvon keskivirheen ($\sigma_{\overline{R_H}}$) laskeminen:

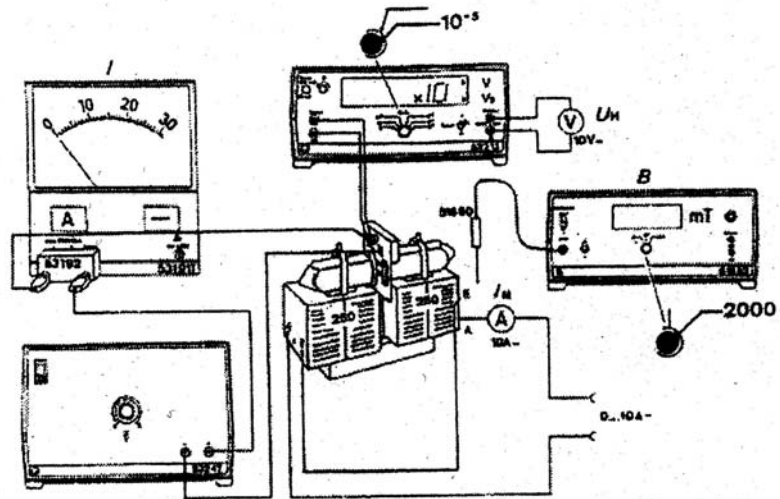
$$\sigma_{\overline{R_H}} = \frac{\sigma_{R_H}}{\sqrt{N}}$$

Mittausmenetelmät:

Työn suorittamisessa käytetään johtimena ohutta ($d = 5 \cdot 10^{-5}$ m) volframiliuskaa (vasen kuva, Hall-generaattori, kohta 1), joka on kiinnitettyä Hall-generaattoriin, sekä sähkömagneettia jonka napakenkäparin väliin generaattori laitetaan. Mittalaitteina käytetään virta-, jännite- ja kentänvoimakkuusmittareita. Lisäksi kokoonpanoon kuuluu kaksi virtalähdettä.



Hall-generaattori



Mittauskytkentä

KytKentä valmisteltiin ensin kentänvoimakkuuden mittaamista varten. Sähkömagneetin napakenkäparin ilmaväli säädettiin oikeaksi käyttäen generaattorin tukilevyä. Napakengät kiristettiin kunnolla paikalleen ja niiden pitävyyttä testattiin kääntämällä magnetointivirta noin 6A:n suuruiseksi. Tämän jälkeen etsittiin napakenkien välistä anturia liikuttelemalla suurin kentänvoimakkuus 1,2,3 ja 4A:n DC magnetointivirtoja käyttäen. Suurimmat löydetyt arvot kirjattiin mittauspöytäkirjaan.

Hall-jännitteitä mitattaessa Hall-generaattori on asennettuna sähkömagneetin napakenkien väliin. Sähkömagneetti demagnetisoidaan syöttämällä keloihin 5A AC-virta ja vähentämällä sitä hitaasti kohti nollaa. Tämän jälkeen nollataan mikrovolttimittari. Hall-generaattoriin syötetään 10A:n tasavirta ja potentiometrin (vasen kuva, Hall-generaattori, kohta 4) avulla säädetään mikrovolttimittarin näyttämä nolllaksi. Tämän jälkeen suoritetaan Hall-jännitteiden mittaus erisuuruisilla magnetointi- ja Hall-generaattorin virroilla tulokset ylös kirjaten.

Mittaustulokset:

Mitattu Hall-jännite (R_H):

$I_c \backslash I_M$	1,07 A	2,00 A	3,02 A	4,05 A
3,0 A	-0,05	-0,12	-0,35	-0,43
6,0 A	-0,09	-0,30	-0,60	-0,76
9,0 A	-0,33	-0,69	-0,89	-1,24
12,0 A	-0,78	-1,30	-1,41	-1,75

Vaalealla pohjalla olevat tulokset muutettava todellisiksi kaavalla $tulos \cdot 10^{-5} V$

Mitattu kentänvoimakkuus (B_z):

VIRTA	KENTTÄ
1,07 A	289 mT
2,00 A	554 mT
3,06 A	758 mT
4,07 A	877 mT

Yhdistetyt mittaustulokset itseisarvoina (sivun 5 kuvaajaa varten):

$B_z \backslash I_c$	3,0 A	6,0 A	9,0 A	12,0 A
0,289 T	0,50 μV	1,20 μV	3,50 μV	4,30 μV
0,554 T	0,90 μV	3,00 μV	6,00 μV	7,60 μV
0,758 T	3,30 μV	6,90 μV	8,90 μV	12,4 μV
0,877 T	7,80 μV	13,0 μV	14,1 μV	17,5 μV

Laskuesimerkit:

Kulmakertoimen laskeminen: (9,0 A:n suora)

$$k = \frac{\Delta U_H}{\Delta B_Z} = \frac{12\mu\text{V} - 1\mu\text{V}}{0,9\text{T} - 0,2\text{T}} = \frac{11\mu\text{V}}{0,7\text{T}} = 15,7\mu\text{VT}^{-1}$$

Hallin-vakion laskeminen: (9,0 A:n suora)

$$|R_H| = \frac{\Delta U_H}{\Delta B_Z} \cdot \frac{d}{I_C} = 15,7\mu\text{VT}^{-1} \cdot \frac{5 \cdot 10^{-5} \text{ m}}{9,0 \text{ A}} = 87,2 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3/\text{C}$$

Hallin-vakion keskiarvon ja keskivirheen laskeminen:

i	R_{H_i}	$d_i = R_{H_i} - \overline{R_H}$	d_i^2
1	$68,3 \cdot 10^{-12}$	$-21,2 \cdot 10^{-12}$	$448,0 \cdot 10^{-24}$
2	$87,2 \cdot 10^{-12}$	$-2,3 \cdot 10^{-12}$	$5,3 \cdot 10^{-24}$
3	$90,8 \cdot 10^{-12}$	$1,3 \cdot 10^{-12}$	$1,7 \cdot 10^{-24}$
4	$111,6 \cdot 10^{-12}$	$22,2 \cdot 10^{-12}$	$491,0 \cdot 10^{-24}$
	$\overline{R_H} = 89,5 \cdot 10^{-12}$	$d = 0$	$\sum d_i^2 = 946,0 \cdot 10^{-24}$

$$\sigma_{R_H} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i^2} = \sqrt{\frac{946,0 \cdot 10^{-24}}{4}} = 15,4 \cdot 10^{-12}$$

$$\sigma_{\overline{R_H}} = \frac{15,4 \cdot 10^{-12}}{\sqrt{4}} = 7,7 \cdot 10^{-12}$$

$$\overline{R_H} \pm \sigma_{\overline{R_H}} = (90 \pm 8) \cdot 10^{-12} \frac{\text{m}^3}{\text{C}}$$

Laskujen tulokset:

Kulmakertoimet:

Virra I_C	Kulmakerroin
12,0 A	$16,4 \mu\text{VT}^{-1}$
9,0 A	$15,7 \mu\text{VT}^{-1}$
6,0 A	$10,9 \mu\text{VT}^{-1}$
3,0 A	$6,7 \mu\text{VT}^{-1}$

Hall-vakiot:

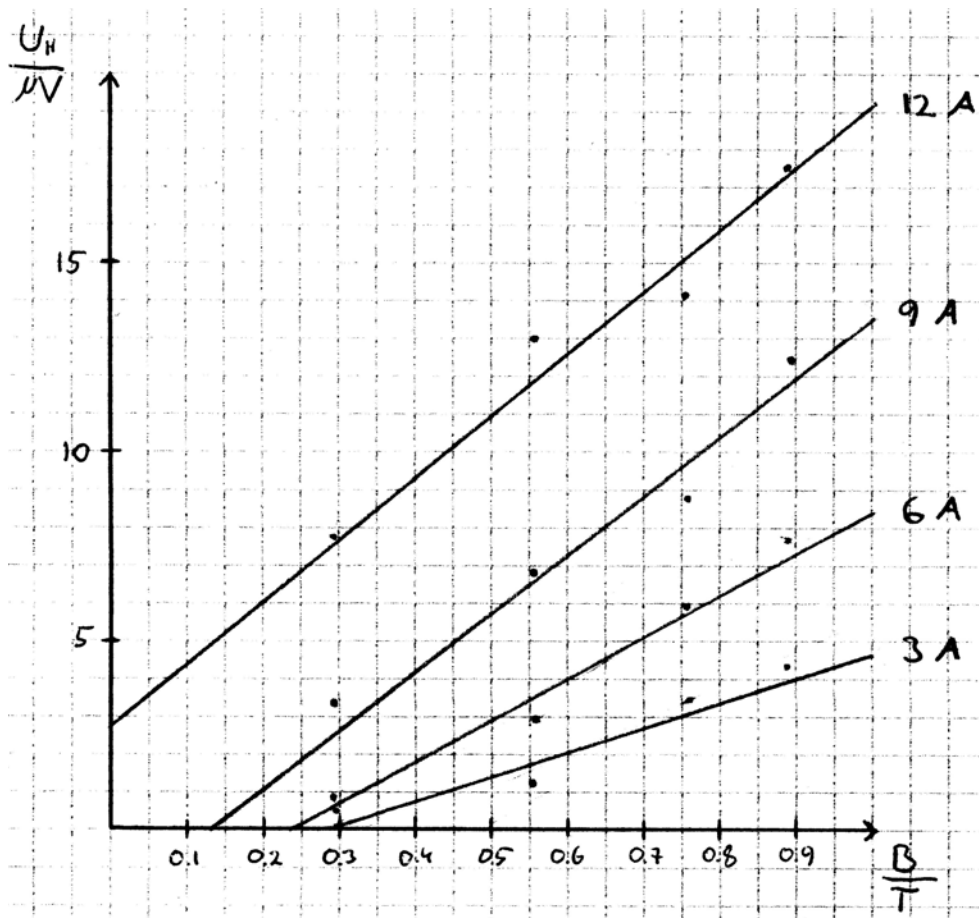
Virra I_C	R_H
12,0 A	$68,3 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3/\text{C}$
9,0 A	$87,2 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3/\text{C}$
6,0 A	$90,8 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3/\text{C}$
3,0 A	$111,6 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3/\text{C}$

Hall-vakion keskiarvo keskivirheineen:

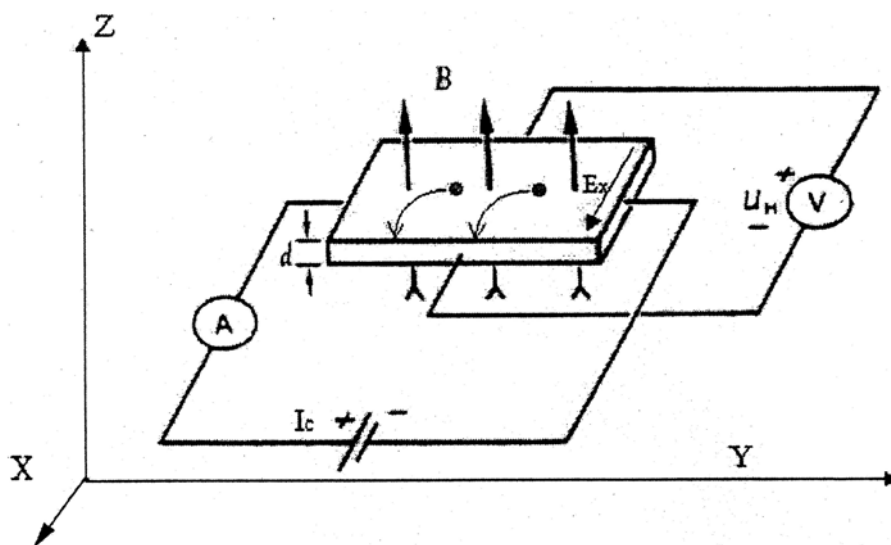
$$R_H \pm \Delta R_H = (90 \pm 8) \cdot 10^{-12} \frac{\text{m}^3}{\text{C}}$$

Kuvaajat:

Hall-jännite magneettikentän funktiona:



Hallin generaattori magneettikentässä:



Työn ja tulosten arviointi:

Hall-vakio:

Itse laskettu arvo	Kirjallisuusarvo
$(90 \pm 8) \cdot 10^{-12} \text{ m}^3/\text{C}$	$89 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3/\text{C}$

Lähde: Hall-labran työ-ohje

Laskettua tulosta verrattaessa kirjallisuusarvoon ei voi olla kuin tyytyväinen. Toki itse virhemarginaali lähentelee 10 %:ia, mutta laskettu arvo ilman virherajaa on hyvin lähellä kirjallisuusarvoa, mikä on todella hyvä juttu. Mittaus on siis onnistunut hyvin.

Mittavirheitä syntyi magneetikentän mittauksen yhteydessä, koska anturia käsin liikuttamalla piti löytää kentän maksimi-arvo. Sähkömagneetin ja volframi-liuskan virran säätö ei ollut kovin helppoa, koska säätömuuntajan nuppi oli hyvin epäherkkä. Tästä syystä saman virran saaminen toisella mittauksella olikin vaikeaa. Muutamassa mittauksessa olikin hieman eri virransuuruuksia kuin kentänvoimakkuuksia mitattaessa. Toki kyseessä oli maksimissaan muutamien kymmenien milliampeerien heitosta, joka tuskin kovin radikaalisesti vaikutti lopputuloksiin. Myöskään virtamittarien näyttämän oikeellisuudesta ja tarkkuudesta ei voida olla täysin varmoja.

Mittavirheiden lisäksi virhettä syntyi myös käyrästön piirron yhteydessä. Pisteet eivät täysin osuneet samalle suoralle, varsinkin pienempien virtojen kanssa tehtyjen mittausten ollessa kyseessä. Viivojen sijainti piti karkeasti arvioiden piirtää kohtaan joka vastaisi suunnilleen todellista viivan sijaintia. Jokaisen suoran pitäisi olla myös samansuuntaisia (sama kulmakerroin), mutta näin ei ollut varsinkaan kahdella alimmalla suoralla. Syy on todennäköisesti mittavirheissä sekä inhimillisistä virheistä mittausta tehtäessä. Suorien eri kulmakertoimista huolimatta niiden avulla lasketut Hall-vakiot ja niistä laskettu keskiarvo ja keskivirhe antoivat lopputuloksesta yllättävän hyvän.

Saaduista mittaustuloksista ja käytetyn kytkennän (sivu 6, Hallin generaattori magneetikentässä) perusteella voidaan päätellä, että käytetty puolijohde oli tyypiltään P.

Kokonaisarvio:

Mittausten tekeminen oli suhteellisen nopeaa ja helppoa. Tosin aluksi nollaus meni pieleen ja saimme aikaiseksi hassuja tuloksia. Noudatimme myös liian tarkasti ohjeita ja ehdimme mitata lähes puolet arvoista ohjeiden mukaisesti napaisuuksia vaihdellen ennen kuin opettajamme Pasi Repo tuli korjaamaan tilanteen. Lopputuloksen kannalta olisi riittänyt yksillä jännitteiden napaisuuksilla mittaaminen, tällöin tuloksia tulisi 16 kpl. Ohjeita seuraamalla niitä olisi tullut 64 kpl. Nollauksen ollessa pielessä emme oikeastaan menettäneet mitään, sillä suoritimme mittaukset uudestaan nollauksen jälkeen uusien ohjeiden mukaisesti.

Työ onnistui loppujenlopuksi hyvin ja itse raporttiinkin olen monen muutoksen jälkeen tyytyväinen.