

29th International Physics Olympiad

Reykjavik, Iceland

Eksperimentaalne võistlus

Esmaspäev, 6. juuli 1998

Kasutada olev aeg: 5 tundi

Loe esmalt seda:

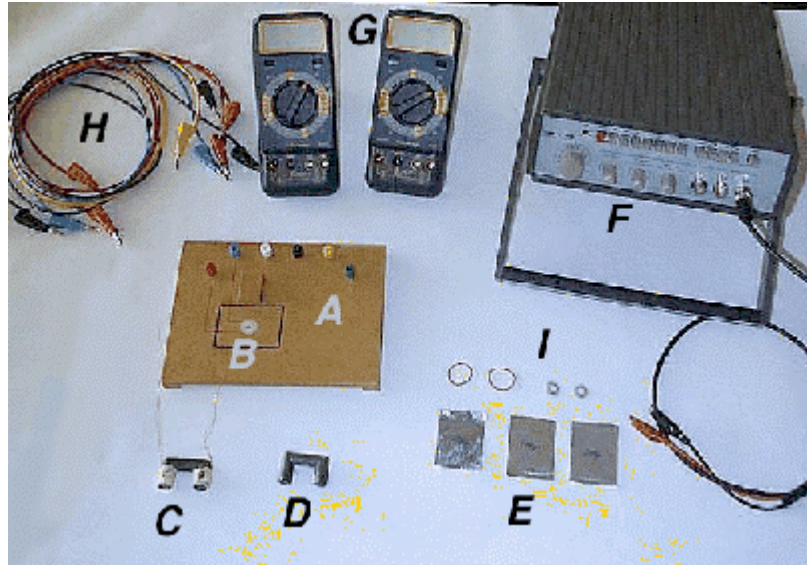
1. Kasuta ainult korraldajate antud sulepead.
2. Kasuta ainult vastuste lehtede ja paberi esikülge.
3. Kasuta oma vastustes *nii vähe teksti kui vähegi võimalik*; väljenda ennast peamiselt valemite, arvude ja jooniste kaudu. **Võta oma vastused kokku vastuselehtedel.**
4. Palun kirjuta kõikidele lehtedele oma maa nimi (ESTONIA), aga samuti oma võistlejanumber (õpilane nr. ...), lehekülje number ja lehekülgede koguarv.
5. Võistluse lõpul järjestage oma vastuste lehed, töölehed, graafikud numbrilises järjekorras ja jäta nad oma lauale.
6. Kalkulaatori kasutamine on lubatud.

Ülesannete tekst koosneb 7 leheküljest, see lehekülg kaasa arvatud.

Examination prepared at: University of Iceland, Department of Physics.

Katsevahendid:

- a) Alus 6 klemmiga
- b) Mõõtepool (aluse sees; i.k "pickup coil")
- c) U-kujuline ferriitsüdamik kahe pooliga (tähistatud "A" ja "B")
- d) U-kujuline ferriitsüdamik ilma poolideta
- e) Alumiiniumplekk paksusega: 25 μm , 50 μm ja 100 μm
- f) Funktsioongeneraator väljundjuhtmetega
- g) Kaks multimeetrit
- h) Kuus klemmidega juhet
- i) Kaks kummirõngast ja kaks kalkapaberi tükki



Multimeetrid

Multimeetrid on kahelt klemmilt mõõtmiseks ettenähtud mõõteriistad, mida käesolevas eksperimendis kasutatakse vahelduvpinge, vahelduvvoolu tugevuse ja sageduse, ning takistuse mõõtmiseks. Kõikides mõõtmistes on üheks sisendiks pesa tähistusega **COM**. Pinge, sageduse ja takistuse mõõtmisel on teine kasutatav sisendpesa punane ja tähistatud **V- Ω** . Voolutugevuse mõõtmisel on teiseks sisendiks kollane sisendpesa tähistusega **mA**. Keskel asuva selektoriga saab valida vajaliku mõõdetava suuruse (**V \sim** vahelduvpinge, **A \sim** vahelduvvoolu, **Hz** sageduse ja **Ω** takistuse mõõtmiseks) ja mõõtepiirkonna. Vahelduvvoolu ja -pinge režiimides on mõõtemääramatus $\pm (4\% \text{ lugemist} + 10 \text{ viimase numbrikoha ühikut})$. **Voolutugevuse täpseks mõõtmiseks soovitatakse vahetada mõõtepiirkonda, kui lugem on alla 10 % piirkonna koguulatuses.** Multimeeter lülitab ennast automaatselt välja, kui selektorit pole keeratud viimase 50 minuti jooksul.

Funktsioongeneraator

Generaatori sisselülitamiseks vajuta punast klahvi tähistusega **PWR**. Vali 10 kHz sageduspiirkond vajutades klahvile tähistusega **10k** ja vali siinussignaali vajutades paremalt teist klahvi (siinuslaine kujutisega). Mingeid muid klahve ei tule kasutada. Võid julgesti pöörata amplituudiselektori nupu ("Amplitude") päripäeva lõpuni. Sagedus valitakse esipaneeli vasakul pool asetseva selektornupuga. Selektori lugem korrutatuna piirkonna suurusega annab väljundsignaali sageduse. Sagedust saab alati kontrollida ühega

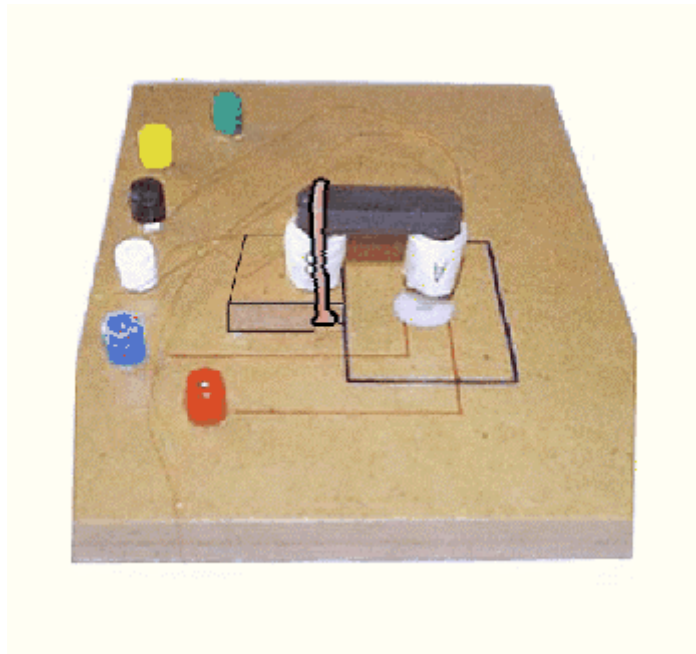
multimeetritest. Kasuta generaatori väljundit tähistusega **MAIN**, mille korral generaatori sisetakistus on 50Ω .

Ferriitsüdamikud

Käsitلة ferriitsüdamikke ettevaatlikult, nad on haprad!! Ferriit on keraamiline magnetmaterjal, mille elektrijuhtivus on väike. Induktsioonvooludest tingitud kaod südamikes on seetõttu väikesed.

Ühendusklemmid

Pooli juhtme ühendamiseks alusel asuva klemmiga keera lahti klemmi värviline plastikmutter, aseta juhtme tinutatud ots klemmi plastik- ja metallmutri vahele ja keera plastikmutter uuesti kinni.



Joonis 1: Katseseade ülesande I osa jaoks.

Osa I. Magnetvälja ekraanimine pöörivoolude abil (8 punkti)

Ajas muutuvad magnetväljad indutseerivad elektrijuhtides pöörivoolu. Pöörivoolud tekitavad omakorda magnetvälja, mis toimib vastu indutseeriva välja muutustele. Harilike metallide lõpliku elektrijuhtivuse tõttu ei ekraaneri (varjesta) nad magnetvälja täielikult.

Alumiiniumpleki ekraaneriva toime kirjeldamiseks kasutame mudel-sõltuvust

$$B = B_0 e^{-\alpha d}, \quad (1)$$

kus B on magnetiline induktsioon pleki all mingis punktis, B_0 on magnetiline induktsioon samas punktis pleki puudumisel, α on nõrgenduskoefitsient ja d on pleki paksus.

Katse

Kinnita poolidega ferriitsüdamik alusel asuvale platvormile poolidega allapoole nii, et pool A oleks täpselt aluse sees asuva mõõtepooli kohal nii nagu näidatud joonisel 1. Kasuta selleks kummirõngast tõmmates see üle südamiku ja platvormi väljaastme alt läbi. Eeldame, et pleki paksuse ja sageduse mõõtmise vigasid ei ole vaja arvestada.

1. (1 punkt) Ühenda poolide A ja B juhtmed klemmidega. Mõõda kõigi kolme pooli takistused veendumaks, et elektrilised ühendused on head. Takistuste väärtused peaksid olema alla 10Ω . Kirjuta mõõdetud väärtused vastuste lehe lahtrisse 1.
2. (5 punkti) Kogu andmed kinnitamaks ülalkirjeldatud magnetekraneerimise mudelit ja leia nõrgenduskoefitsient α alumiiniumpleki jaoks (paksustega 25 - 175 μm) sageduste vahemikus 6 – 18 kHz. Selleks aseta plekk alusele märgitud ruutu mõõtepooli kohale ja rakenda poolile A sinusoidaalne pinge. Kirjuta oma tulemused vastuste lehe lahtrisse 2.
3. (2 punkti) Esita tulemused graafiliselt sagedus - α teljestikus.

II osa. Sidestus magnetvoo kaudu (12 punkti)

Selles osas uurime, kuidas käituvad kaks ühise ferriitsüdamiku peal asuvat pooli, siis, kui ühele neist rakendatakse vahelduvpinge (V_g) väliselt sinusoidaalse pinge generaatorilt. Käesoleva aparatuuri puhul on kõik küllastusefektid tühised ja võite lugeda, et südamike magnetiline läbitavus μ on konstantne.

Teooria.

Edaspidises lugegem, et poolide oomiline takistus ja kõik hüstereesist tingitud efektid on tühised. Nende lihtsustavate eelduste tõttu võivad osade suuruste teoreetiliselt arvutatud ja praktiliselt mõõdetud väärtused olla veidi erinevad.

Üksik pool.

Vaadelgem alustuseks üksikut pooli, milles voolab vool tugevusega I . Pooli sisemuses asuvas ferriitsüdamikus genereeritud magnetvoog Φ on võrdeline vooluga I ja pooli keerdude arvuga N . Veel sõltub see voog geomeetrisest faktorist g (määratud pooli kuju ja suurusega) ning südamiku magnetilisest läbitavusest

$$\mu = \mu_r \mu_0,$$

kus μ_r on südamiku aine suhteline läbitavus ja μ_0 vaakumi läbitavus.

Magnetvoog Φ on antud seega valemiga

$$\Phi = \mu g N I = c N I, \quad (2)$$

kus tähistasime $c = \mu g$. Vastavalt Faraday seadusele on ahelas indutseeritud pinge

$$E(t) = -N \frac{d\Phi(t)}{dt} = -cN^2 \frac{dI(t)}{dt} \quad (3)$$

Pooli läbiva voolu ja temal oleva pinge vahelist seost võib kasutada selleks, et defineerida pooli induktiivsus L :

$$E(t) = -L \frac{dI(t)}{dt}. \quad (4)$$

Kui sinusoidaalse signaali generaator on ühendatud pooli klemmidega, siis pooli läbib vool

$$I(t) = I_0 \sin \omega t, \quad (5)$$

kus ω on ringsagedus ja I_0 on voolu amplituud. Vastavalt valemile (3) indutseerib (tekitab) seesama pooli läbiv vool poolile pinge

$$E(t) = -\omega cN^2 I_0 \cos \omega t \quad (6)$$

Niisiis peab vool olema selline, et indutseeritud pinge oleks võrdne generaatori pingega V_g . Voolu ja pinge vahel on 90° -line faasinihe. Kui unustada faasinihe ja vaadelda üksnes pinge ja voolutugevuse amplituude E_0 ja I_0 , siis

$$E_0 = \omega cN^2 I_0. \quad (7)$$

Edaspidises jätame me indeksi "0" välja kirjutamata.

Kaks pooli.

Oletagem nüüd, et kaks pooli on ühisel südamikul. Taolist ühist ferriitsüdamikku saab kasutada selleks, et siduda poolide magnetväljad. Antud otstarbeks oleks ideaalne see, kui voog läbi südamiku ristlõike oleks üks ja sama kõikide ristlõigete jaoks. Reaalsuses läheb osa magnetvoost siiski läbi südamiku külgsinna välja ja seetõttu on magnetvoog läbi teise pooli väiksem, kui ta on esimeses, magnetvoogu genereerivas poolis. Niisiis on vool läbi esimese ja teise pooli (vastavalt Φ_A ja Φ_B) seotud valemiga

$$\Phi_B = k\Phi_A. \quad (8)$$

Analoogselt, selle magnetvoo komponendi jaoks, mis on tekitatud teist pooli läbiva voolu poolt, kehtib seos $\Phi_A = k\Phi_B$. Kordajat k nimetatakse kahe pooli sidestusteguriks ja ta on väiksem ühest.

Vaadeldavale ferriitsüdamikule on asetatud poolid A ja B nii, nagu seda tehakse transformaatoris. Olgu pool A primaarseks (s.o. ühendatud signaaligeneraatori külge). Kui poolis B voolu pole ($I_B = 0$), siis I_A poolt poolis A genereeritud pinge E_A on võrdne ja vastasmärgiline pingega V_g . Magnetvoog, mille I_A tekitab poolis B, on antud valemiga (8) ja see genereerib poolis B pinge

$$E_B = \omega kcN_A N_B I_A. \quad (9)$$

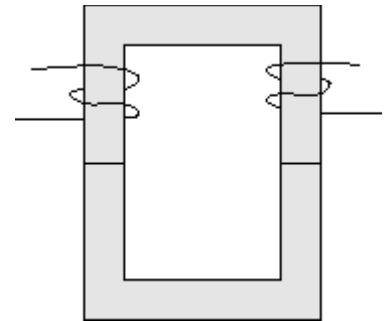
Kui poolis B voolab vool I_B , siis tekitab ta poolis A pinge, mis on antud analoogse valemiga. Summaarne pinge poolil A on sel juhul

$$V_g = E_A = \omega cN_A^2 I_A - \omega kcN_A N_B I_B. \quad (10)$$

Niisiis tekitab teises poolis voolav vool pinge, mis nõrgendab esimese pooli voolu poolt tekitatud pinget ja seetõttu peab vool I_A suurenema. Analoogete võrrandi võib kirjutada ka pinge E_B jaoks. Mõõtmiste teel võib veenduda, et sidestustegur k ei sõltu sellest, kumb pool on primaarse rollis.

Eksperiment.

Asetage kaks U-kujulist südamikku kokku nii, nagu näidatud joonisel 2 ja kinnitage nad kummipaela (kummirõnga) abil kokku. Seadke "funktsioonigeneraator" genereerima sinusoidaalset signaali sagedusel 10 kHz. Multimeeter tuleb seada iga mõõtmise jaoks alati võimalikult tundliku mõõtmisdiapasooni peale. Poolide A ja B keerdude arvud on vastavalt $N_A = 150$ keerdu ja $N_B = 100$ keerdu (kummagi pooli puhul on võimalik viga ± 1 keerdu).



Joonis 2: Transformaator, mille magnetvoog moodustab kinnise ahela.

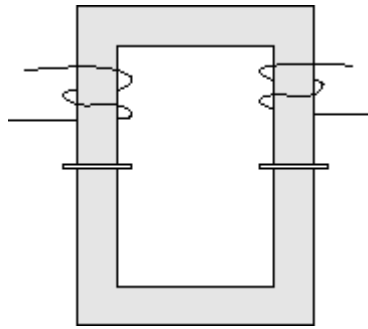
- (3,5 punkti) Näita, et poolide induktiivsused ja induktiivse sidestustegur k avalduvad mõõdetud ja antud suuruste kaudu valemitega: $L_A = E_A / (\omega I_A)$, kui $I_B = 0$; $L_B = E_B / (\omega I_B)$, kui $I_A = 0$ ja $k = (N_B I_B) / (N_A I_A)$, kui $E_B = 0$ ning kirjuta oma tulemused vastuste lehe lahtrisse 1.a. Joonista vastuste lehe lahtrisse 1.b elektrilised skeemid, mis näitavad, kuidas need suurused olid mõõdetud. Arvuta L_A , L_B ja k numbrilised väärtused ja kirjuta need vastuste lehe lahtrisse 1.c.
- (2 punkti) Kui lühistada sekundaarpool, siis omandab primaarpooli vool I_P suurema väärtuse. Kasutades eelnevaid valemeid, tuleta I_P jaoks avaldis primaarpooli pinge, primaarpooli induktiivsuse, sidestusteguri ja ringsageduse kaudu ning kirjuta tulemus vastuste lehe lahtrisse 2.a. Mõõda I_P ja kirjuta selle väärtus lahtrisse 2.b vastuste lehel.
- (2,5 punkti) Poole A ja B saab ühendada järjestikku kahel erineval viisil, nii et nende magnetvood vastastikku kas liituvad või lahutuvad.
 - Mõõda vajalikud suurused ja leia nende abil järjestikku ühendatud poolide süsteemi induktiivsus L_{A+B} juhul, kui voolu I poolt poolides tekitatud magnetvood vastastikku liituvad (s.o. tugevdavad teineteist) ja kirjuta vastus vastuste lehe lahtrisse 3.1.
 - Mõõda pinged V_A ja V_B juhul kui poolide poolt tekitatud magnetvood on vastassuunalised. Kirjuta tulemused vastuste lehe lahtrisse 3.2.a ja pingete suhe lahtrisse 3.2.b. Tuleta avaldis poolipingete suhte jaoks poolide keerdude arvu ja sidestusteguri kaudu ning kirjuta tulemus lahtrisse 3.2.c.
- (1 punkt) Kasuta ülalosaadud tulemusi kontrollimaks, et pooli induktiivsus on võrdeline keerdude arvu ruuduga ja kirjuta oma tulemus vastuste lehe lahtrisse 4.
- (1 punkt) Kontrolli, et primaarpooli oomilise takistuse mitteamustamine oli õigustatud ja esita oma kaalutlused matemaatilise avaldise kujul vastuste lehe lahtris 5.

6. (2 punkti) Õhukesed paberitükid, asetatuna kahe südamiku poole vahele (nagu näidatud joonisel 3) vähendavad tugevasti pooli induktiivsust. Kasuta seda kahanemist ferriitainete suhtelise magnetilise läbitavuse μ_r määramiseks, eeldades Ampere'i seaduse kehtimist (vt. allapoole) ning magnetvoo tiheduse (magnetilise induksiooni) \mathbf{B} pidevust ferriidi ja paberi lahutuspinnal.

Eeldame, et paberi jaoks $\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N s}^2/\text{C}^2$ ja et paberi paksus on $43 \mu\text{m}$. Antud juhul saab geomeetrilise faktori g määrata Ampere'i seadusest

$$\oint \frac{1}{\mu} B dl = I_{total} , \quad (11)$$

kus I_{total} on summaarne vool läbi integreerimisteega piiratud pinna. Kirjuta algebraline avaldis μ_r jaoks lahtrisse 6.a vastuste lehel ja numbriline väärtus lahtrisse 6.b.



Joonis 3: Ferriitsüdamikud nende vahel asetsevate paberitükkidega.