Áramtól átjárt elektromos tekercs mágneses terének tanulmányozása

I. A gyakorlat célkitűzése:

- *Áramtól átjárt hengeres tekercs (szolenoid) belsejében kialakult mágneses tér indukciójának kísérleti meghatározása szondatekercs segítségével*

II. Elméleti bevezető

Michael Faraday skót fizikus nevéhez fűződik az *elektromágneses indukció* jelenségének a felfedezése. Faraday ismerte fel először (1831), hogy a *változó mágneses tér elektromos feszültséget gerjeszt*, amely zárt vezető hurokban elektromos áramot eredményez. A zárt vezetőben megjelenő áramot *indukált elektromos áramnak*, a jelenséget *elektromágneses indukciónak* nevezzük.

Faraday-féle indukciótörvény értelmében az áramkörben indukált feszültség egyenlő a mágneses fluxus egységnyi idő alatti változásával, vagy másképp fogalmazva, a mágneses fluxus idő szerinti differenciál hányadosával:

$$u = -\frac{d\Phi_m}{dt}$$

Amennyiben az áramhurok N menetű tekercsre vonatkozik, az indukált feszültség értéke N-szerese az egyetlen menetben gerjesztett feszültség értékének:

$$u = -N \cdot \frac{d\Phi_m}{dt}$$

A mágneses fluxus nagyságát kifejező skaláris szorzat értéke $\Phi_m = \vec{B} \cdot \vec{dS} \equiv B \cdot dS \cdot \cos\theta$, ezért az indukált feszültségre felírhatjuk:

$$e = -N \cdot \frac{d}{dt}(B \cdot dS \cdot \cos\theta)$$

Az előbbi kifejezésből látható, hogy indukált feszültség gerjesztése többféle módon történhet:

- *változtatva a $\vec{B}$ nagyságát,*
- *változtatva a vezetőhurok dS felületének nagyságát,*
- *változtatva a $\vec{B}$ vektor és a felületre merőleges $\vec{dS}$ vektor iránya közti θ szög értékét.*

A fentiekben ismertetett elméleti alapok segítségével lehetőségünk van a gyakorlatban megfogalmazott feladatpontok teljesítésére.

III. A kísérleti mérések menete

III.1. Áram által átjárt szolenoid mágneses terének kísérleti vizsgálata szondatekercs segítségével

Gyakorlatunkban olyan módszerrel ismerkedünk meg, amelyben egy *szondatekercs* segítségével meghatározzuk az áramtól átjárt szolenoid belsejében kialakult mágneses indukciót. A szondatekercs sokmenetű gyűrűtekercs.

Rajzoljuk le a kísérletben használt rendszert, amely tartalmaz egy hengeres alakú egyenes tekercset (szolenoid) és egy egyenfeszültségű áramforrást, áramkorlátozó izzólámpát, szondatekercset és mérőműszereket. A tekercs meneteiben folyó áram erősségét sorba kapcsolt árammérő segítségével mérjük. A szondatekercset tartalmazó mérőáramkörben ballisztikus galvanométert használunk az indukált töltésmennyiség meghatározása céljából. A szolenoid meneteiben folyó áramot egy elektromos izzólámpa ellenállása korlátozza, amely megakadályozza a tekercs túlzott felmelegedését ($j_{max} = 5A\ /\ mm^2$).

A szolenoid N menetszáma, D átmérője, illetve a tekercs l hossza, közvetlenül leolvasható a kísérleti eszközről. A tekercs belsejébe csúsztatjuk a szondatekercset, amelynek paraméterei (tekercs N_{sz} menetszáma, d átmérője, illetve R_{sz} annak ohmos ellenállása) ugyancsak közvetlenül leolvasható.

Mágnestű segítségével hozzuk a szolenoidot olyan irányba, hogy annak szimmetria tengelye mutasson a helyi $\mathrm{É} - \mathrm{D}$ irányba. Ezzel minimálisra csökkentjük a Földi mágneses tér indukáló hatását.

A *ballisztikus galvanométer* a mérőáramkörön áthaladó töltésmennyiséggel arányos *maximális kitérést* eredményez. A ballisztikus galvanométert tartalmazó mérőáramkört előbb hitelesítjük. Ehhez a galvanométer tekercsén ismert töltésmennyiséget vezetünk át:

$$Q_0 = C \cdot U_0$$

A Q_0 töltésmennyiséget ismert C kapacitású kondenzátornak, ismert U_0 feszültségen való feltöltésével nyerjük. Majd egy váltókapcsoló segítségével a feltöltött kondenzátor töltését a szondatekercs mérőáramkörére kapcsoljuk és a galvanométer tekercsének ellenállásán kisütjük. Ezzel meghatározzuk az ismert töltésmennyiség által okozott maximális x_0 kitérést:

$$x_0 = \kappa \cdot Q_0\ ,$$

ahol κ a mérőármakör érzékenységi tényezője.

A tükrös galvanométer fénycsóváját távoli ernyőre vetítjük, hogy pontosabb mérési eredményt kapjunk a kitérés nagyságára vonatkozóan. Ismételt méréseket végzünk a kitérés pontos meghatározása céljából.

A szolenoid belsejében kialakult mágneses indukció meghatározása céljából használt szondatekercset gyors mozdulattal eltávolítjuk a szolenoid belsejéből.

A szolenoid mágneses teréből gyorsan eltávolított szondatekercs viszonylagos helyzetének változása mágneses fluxusváltozást eredményez, melynek következtében a szondatekercsben elektromotoros feszültség indukálódik.

Faraday törvénye értelmében az N_{szonda} menetszámú szondatekercsben indukált elektromotoros feszültség:

$$u = -N_{sz} \cdot \frac{d\Phi_m}{dt}$$

A szondatekercsben indukált feszültség hatására áramlökés keletkezik a zárt mérőáramkörben. Ez az áramlökés a ballisztikus galvanométer tekercsének kitérését eredményezi. A változó erősségű i áram töltést szállít a mérőáramkörön keresztül, ezért felhasználva a fenti összefüggéseket, valamint a kezdeti feltételeket is figyelembe véve, kiszámíthatjuk az indukált Q_{ind} töltést:

$$Q_{indukált} = \int_0^t i dt = \int_0^t \frac{u}{R_g + R_{sz}} dt = \int_0^t \left(\frac{1}{R_g + R_{sz}}\right)\left(-\frac{N_{sz} \cdot d\phi}{dt}\right) dt$$

$$Q_{indukált} = -\left(\frac{N_{sz}}{R_g + R_{sz}}\right) \int_{\Phi_{max}}^{0\int} d\phi$$

Gyakorlatunkban a szolenoid által gerjesztett homogén mágneses mezőből eltávolított szondatekercsben a mágneses fluxus a maximális ϕ_{max} értékről nullára csökken, ezért az indukált feszültség átlagos értékére felírhatjuk:

$$\overline{u} = -N_{sz} \cdot \frac{\Delta\Phi_m}{\Delta t}$$

amelyben, $\Delta\phi_m = 0 - \phi_{max}$, illetve Δt a szondatekercs eltávolításának időtartama.

A számítások során figyelembe vesszük, hogy a szondatekercs ellenállása R_{sz} és a ballisztikus galvanométer tekercsének R_g ellenállása sorosan kapcsolt R eredő ellenállást határoz meg. Az indukált feszültség és az ellenállás aránya meghatározza az átfolyó áram I átlagos erősségét:

$$I = \frac{\overline{u}}{R_g + R_{sz}}$$

$$\frac{Q_{ind}}{\Delta t} = \frac{-N_{sz} \cdot \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t}}{R_g + R_{sz}}$$

$$\frac{Q_{ind}}{\Delta t} = \frac{-N_{sz} \cdot (0 - \Phi_{max})}{\left(R_g + R_{sz}\right) \cdot \Delta t \frac{N_{szonda} \cdot (B_t \cdot S_{szonda})}{\left(R_g + R_{sz}\right) \cdot \Delta t}}$$

A kísérleti mérési eredmények behelyettesítésével meghatározzuk a szolenoid belsejében kialakult mágneses indukció B_t értékét:

$$B_t = \frac{4Q_{indukált}}{N_{szonda} \cdot \pi \cdot d^2} \cdot \left(R_{szonda} + R_{galvan.}\right),$$

amelyben a szondatekercs közepes átmérője $d = 6{,}7\ cm$, $R_{sz} = 78\,\Omega$, $R_g = 450\,\Omega$, $N_{szonda} = 500$.

Az indukált töltésmennyiség $Q_{indukált}$ nagyságát a kísérletileg mért áramlökés okozta maximális kitérés x_{max} nagysága és a mérőáramkör hitelesítése során meghatározott műszerállandó figyelembevételével kapjuk:

$$Q_{indukált} = \frac{Q_0}{x_0} \cdot x_{max}$$

Végezzünk méréseket több pontban, egyenlő közönként a szolenoid közepétől a szolenoid széléig haladva! Ábrázoljuk grafikusan a mágneses indukció eloszlását a szolenoid tengelyén mért távolság függvényében!

Hasonlítsuk össze a mágneses tér indukcióját a tekercs tengelyének felezőpontjában, amelyet az elméleti képlet segítségével számítunk ki, illetve a kísérleti mérések alapján meghatározunk! Fogalmazzunk meg következtetéseket a kapott eredmények vonatkozásában!

III.2. Válaszoljon írásban az alábbi ellenőrző kérdésekre!

- *Mi egy szolenoid és hogyan néz ki annak mágneses tere?*
- *Hogyan lehet kimutatni a mágneses erővonal irányítását a tekercs belsejében?*
- *Írja le mit jelent a ballisztikus galvanométer kalibrálása!*
- *Miért tér ki a galvanométer a szonda-tekercses mérések idején? Vázolja a folyamatot!*
- *Mi határozza meg, hogy milyen irányítással rendelkeznek a mágneses tér erővonalai egy egyenárammal átjárt tekercs esetében? Rajzoljon fel egy példát!*