

29. Slinkties ir laidumo srovių medžiagoje santykio priklausomybės nuo elektrinio lauko dažnio tyrimas

Užduotis.

1. Ištirti elektrinio laidumo ir slinkties srovių stiprių santykio priklausomybę nuo elektrinio lauko dažnio.
2. Rasti tiriamojo dielektriko dielektrinę skvarbą ir ominę varžą.

Pagrindiniai teoriniai klausimai.

1. Gauso dėsnis.
2. Srovės tolydumo lygtis.
3. Pilnutinės srovės Ampero dėsnis.
4. Talpinė varža.

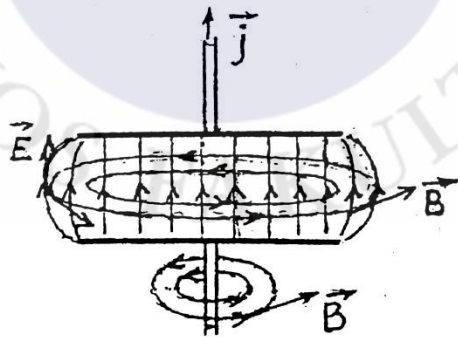
Slinkties srovė.

Tekant srovei laidininku sukuriama magnetinis laukas jo viduje ir aplinkoje. Jeigu į grandinę įjungtas kondensatorius, magnetinis laukas sukuriama ir tarp jo plokštelių. Čia krūvininkų judėjimo nėra, kinta tik elektrinio lauko stipris $E = E_0 e^{U\pi\nu}$. Magnetinį lauką sukuria ne tik judantys krūviai, bet ir kintantis elektrinis laukas. Tarkime, kad kondensatoriaus plokštelės krūvis q didėja (1 pav.). Pagal Gauso dėsnį

$$q = \varepsilon\varepsilon_0 \oint_S (\vec{E}, \vec{dS}). \quad (1)$$

čia ε – santykinė dielektrinė skvarba, ε_0 – elektrinė konstanta. S – laisvai pasirinktas uždaras paviršius, gaubiantis plokštelę, $\vec{dS} = \vec{n}dS$ – ploto elementas, \vec{n} – vienetinis normalės vektorius duotame paviršiaus taške. Išdiferencijavę šią lygtį pagal laiką gausime

$$\frac{dq}{dt} = \varepsilon\varepsilon_0 \oint_S \left(\frac{d\vec{E}}{dt}, \vec{dS} \right). \quad (2)$$



1 pav. Elektrinis ir magnetinis laukai tarp kondensatoriaus plokštelių

Pagal krūvio tvermės dėsnį

$$\frac{dq}{dt} = - \oint_S (\vec{j}, \vec{dS}). \quad (3)$$

čia \vec{j} – laidumo srovės tankis. Sulyginę šių lygčių dešiniąsias puses gausime

$$\oint_S \left(\vec{j} + \varepsilon \varepsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt}, d\vec{S} \right) = 0. \quad (4)$$

Taigi, antrasis narys turi srovės tankio dimensiją:

$$\vec{j}_s = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt}. \quad (5)$$

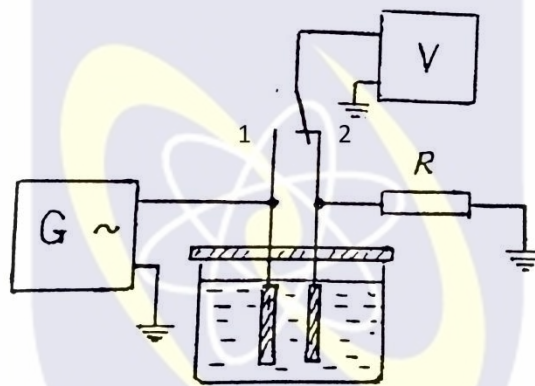
Jis vadinamas slinkties srovės tankiu. Slinkties srovė, kaip ir laidumo srovė, sukuria magnetinį lauką.

Tyrimo metodas.

Tiriame plokščiąjį kondensatorių, kurio dielektriko elektrinį laidumą galima nesunkiai išmatuoti. Tyrimų aparatūros schema pavaizduota 2 pav. Į indą su skystu dielektriku patalpintos lygiagrečios metalinės plokštelės sudaro tiriamąjį kondensatorių. Jis nuosekliai sujungtas su sinusinės įtampos generatoriumi G ir žinomo dydžio varža R . Voltmetru matuojame įtampą U_R šioje varžoje ir U – generatoriaus išėjime. Ištiriame srovės stiprio $I = U_R / R$ priklausomybę nuo elektrinio lauko dažnio ν .

Panagrinėkime kaip priklauso slinkties srovės stipris nuo harmoningai kintančio elektrinio lauko dažnio. Tokiu atveju elektrinio lauko stiprio kitimą aprašo funkcija

$$E(t) = E_0 e^{i2\pi\nu t}. \quad (6)$$



2 pav. Matavimo schema

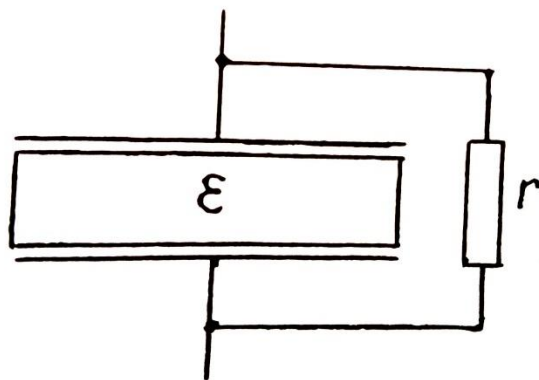
Įrašę į (5) gausime, kad slinkties srovės tankis

$$j_s = i\varepsilon \varepsilon_0 2\pi\nu e^{i2\pi\nu t}. \quad (7)$$

Tarp tiriamojo kondensatoriaus plokštelių teka ir tam tikra laidumo srovė. Pagal Omo dėsnį jos tankis $j_l = \sigma E$, todėl bendras srovės tankis

$$j = (\sigma + i\varepsilon \varepsilon_0 2\pi\nu) E_0 e^{i2\pi\nu t}. \quad (8)$$

Kondensatorius, kurio dielektrikas turi ne begalinę varžą r , ekvivalentiškas sistemai, sudarytai iš kondensatoriaus su nelaidžiu dielektriku, turinčiu tą pačią dielektrinę skvarbą ε , ir lygiagrečiai prijungtos ominės varžos r (3 pav.).



3 pav. Tiriamojo kondensatoriaus ekvivalentinė schema

Tokioje grandinėje varža r teka laidumo srovė, o kondensatoriumi – slinkties srovė. Jos tankis tarp plokštelių visur vienodas, o už jų, kaip ir lauko stipris, staigiai mažėja iki nulio. Tokiu atveju srovės stiprio momentinė vertė

$$\dot{I} = E_0 S (\sigma + i \varepsilon \varepsilon_0 2\pi \nu) e^{i2\pi \nu t} \quad (9)$$

čia S – kondensatoriaus plokštelės plotas. Srovės stiprio kompleksinė amplitudė

$$\dot{I}_0 = E_0 S (\sigma + i \varepsilon \varepsilon_0 2\pi \nu) \quad (10)$$

Jeigu įtampas tarp kondensatoriaus plokštelių amplitudė U_0 , tai $E_0 = \frac{U_0}{d}$. Dielektriko savitasis elektrinis laidis $\sigma = \frac{d}{rS}$, kondensatoriaus geometrinė talpa $C_0 = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$. Atsižvelgę į tai užrašysime

$$\dot{I}_0 = U_0 \left(\frac{1}{r} + i \varepsilon 2\pi \nu C_0 \right) \quad (11)$$

Taigi, srovės stiprio efektinė vertė

$$I = U \sqrt{\frac{1}{r^2} + (2\pi \nu \varepsilon C_0)^2} \quad (12)$$

Iš čia gausime, kad

$$\left(\frac{I}{U} \right)^2 = \frac{1}{r^2} + (2\pi \varepsilon C_0 \nu)^2 \quad (13)$$

Pavaizdavę grafiškai $\left(\frac{I}{U} \right)^2$ priklausomybę nuo ν^2 turime tiesę, kurią pratęšę iki susikirtimo su ordinačių ašimi rasime $\frac{1}{r^2}$ vertę.

Slinkties ir laidumo srovių stiprių santykis lygus talpinio ($2\pi \varepsilon C_0$) ir omino ($\frac{1}{r}$) laidumų santykiui:

$$\beta = 2\pi \varepsilon C_0 \nu r \quad (14)$$

Padaliję (13) lygties abi puses iš $\frac{1}{r^2}$ gausime

$$\beta = \sqrt{\left(\frac{I}{U}r\right)^2 - 1}. \quad (15)$$

Grafiškai pavaizdavę $\beta(\nu)$ priklausomybę, apskaičiuojame pagal (14) lygtį dielektrinę skvarbą.

Tyrimo eiga.

1. Susijunkite schemą, kaip parodyta 2 pav.
2. **Pakvieskite dėstytoją, kad šis patikrintu, ar teisingai sujungta grandinė.**
3. Įjunkite generatorių ir nustatykite jo generuojamos įtampos dažnį ties 20 kHz.
4. Voltmetru išmatuokite įtampą U generatoriaus išėjime ir įtampą U_R varžoje R .
5. Matavimus atlikite intervale 20-200 kHz, dažnį keisdami kas 20 kHz.
6. Iš nustatytų U_R verčių prie skirtingų dažnių apskaičiuokite varža R tekančios srovės stiprį I :

$$I = \frac{U_R}{R}.$$

7. Matavimų ir skaičiavimų rezultatus surašykite į lentelę.

ν , kHz	U , V	U_R , V	I , mA

7. Pavaizduokite grafiškai $\left(\frac{I}{U}\right)^2$ priklausomybę nuo ν^2 ir ją aproksimuokite tiese. Tiesę pratęsę iki susikirtimo su ordinačių ašimi nustatykite $\frac{1}{r^2}$ vertę.

8. Pasinaudoję nustatyta r verte, grafiškai pavaizduokite $\beta(\nu)$ priklausomybę ir aproksimuokite ją tiese.

9. Dielektriko dielektrinę skvarbą nustatykite iš tiesės krypties koeficiento pagal (14) formulę. Tiesės krypties koeficientas:

$$A = 2\pi\epsilon C_0 r.$$

o dielektrinė skvarba

$$\epsilon = \frac{A}{2\pi C_0 r}.$$

Literatūra.

1. A. Medeišis „Mechanika, molekulinė fizika, elektra ir magnetizmas. Fizikos praktikumas.“, Vilnius, *Vilniaus universiteto leidykla*, 2000.
2. A. Matvejevas, „Elektra ir magnetizmas“, Vilnius, *Mokslas*, 1991.
3. V. Rinkevičius, „Elektra ir magnetizmas“, Vilnius, *Vilniaus universiteto leidykla*, 2001.