

24. Laisvieji elektromagnetiniai virpesiai rezonansiniame kontūre

Užduotis:

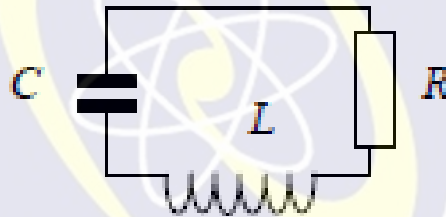
Ištirti virpesių rezonansiniame kontūre periodo, slopinimo koeficiento, logaritminio dekremento ir kontūro kokybės priklausomybę nuo ominės varžos, esant pastoviai talpai ir dviems skirtingoms induktyvumo reikšmėms.

Pagrindiniai teoriniai klausimai:

1. Įtampų pasiskirstymas rezonansiniame kontūre vykstant elektromagnetiniams virpesiams.
2. Pagrindiniai fizikiniai parametrai, kuriais apibūdinami slopinamieji virpesiai.

Teorinis įvadas:

Panagrinėkime virpamąjį kontūrą, sudarytą iš kondensatoriaus C, induktyvumo ritės L ir ominės varžos R.



1 pav. RLC grandinė.

Pagal II Kirchhofo taisyklę:

$$IR + \frac{q}{C} + L \frac{dI}{dt} = 0. \quad (1)$$

Įsistatę $I = \frac{dq}{dt}$, gauname

$$\frac{dq}{dt} R + \frac{q}{C} + L \frac{d^2q}{dt^2} = 0. \quad (2)$$

Įvedame pažymėjimus: $\beta = \frac{R}{2L}$, $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$. Tuomet

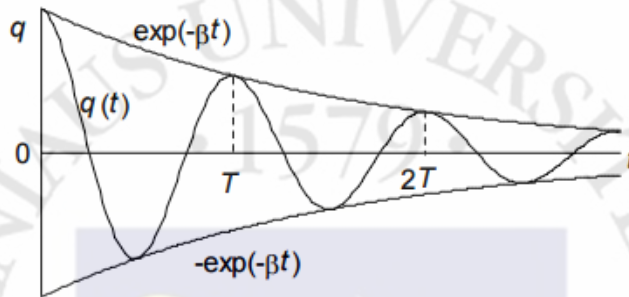
$$2\beta \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q + \frac{d^2q}{dt^2} = 0. \quad (3)$$

Jei $\beta^2 < \omega_0^2$, tai diferencialinės lygties sprendinys:

$$q(t) = q_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \phi), \quad (4)$$

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}. \quad (5)$$

Čia ω – ciklinis virpesių dažnis.



2 pav. Kondensatoriaus krūvio kitimas laike.

Svyravimų slopinimui apibūdinti įvedamas dydis, vadinamas **logaritminiu slopinimo dekrementu δ** .

$$\delta = \ln \frac{a(t)}{a(t+T)} = \beta T. \quad (6)$$

$a(t)$ yra amplitudinė dydžio vertė laiko momentu t . Vietoje $a(t)$ galime įsirašyti $I(t)$, $U(t)$ arba $q(t)$ išraiškas.

Kai tiriamas dydžio pokytis po n periodų, logaritminio dekremento išraiška užrašoma taip:

$$\delta = \frac{1}{n} \ln \frac{a(t)}{a(t+T)}, \text{ nes } \frac{a(t)}{a(t+T)} = \beta n T = n \delta. \quad (7)$$

Jei po N svyravimų dydžio amplitudė sumažėjo e kartų, tai $\frac{a(t)}{a(t+NT)} = \frac{e^{-\beta t}}{e^{-\beta(t+NT)}} = e$.

Iš čia $\beta N T = 1$ ir $N = \frac{1}{\beta T} = \frac{1}{\delta}$.

δ – atvirkščias dydis svyravimų skaičiui, per kurį svyravimų amplitudė sumažėja e kartų.

Kadangi $\beta = \frac{R}{2L}$, o $T = \frac{2\pi}{\omega}$, tai

$$\delta = \frac{R}{2L} \frac{2\pi}{\omega} = \frac{\pi R}{L\omega}. \quad (8)$$

Kontūro kokybė Q apibrėžiama taip:

$$Q = \frac{\pi}{\delta}. \quad (9)$$

Ji parodo, po kokio skaičiaus n virpesių kondensatoriaus energijos amplitudė sumažėja $e^{2\pi}$ kartų:

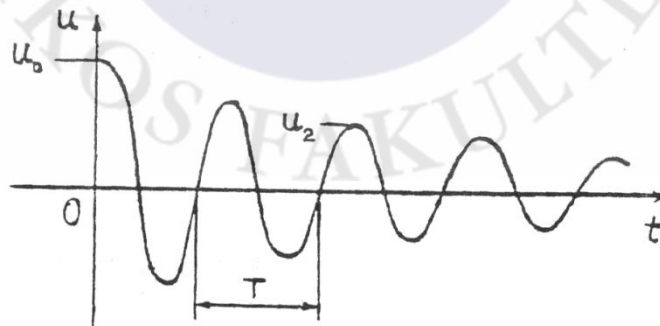
$$W_n = W_0 e^{-\frac{2\pi n}{Q}}. \quad (10)$$

Į (9) formulę įsistatome (8) ir (5):

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C} - \frac{R^2}{4}}. \quad (11)$$

Eksperimento metodika:

Slopinamieji virpesiai rezonansiniame kontūre sukelti įelektrintą kondensatorių ir įjungiant į grandinę su indukcinė rite ir omine varža. Tokioje grandinėje atsiranda elektromagnetiniai virpesiai. Kondensatoriaus įtampos kitimai registruojami oscilografu. Kondensatoriaus įtampos priklausomybės nuo laiko pavyzdys matomas oscilografo ekrane pavaizduotas 3 paveiksle.



3 pav. Kondensatoriaus įtampos priklausomybė nuo laiko.

(1) lygties sprendinys gali būti užrašytas ir tokiu pavidalu:

$$U = U_n e^{i\omega t}. \quad (12)$$

Čia ω -ciklinis virpesių dažnis.

$$U = U_0 e^{-\beta t}, \quad (13)$$

kur β – slopinimo koeficientas, $n=0, 1, 2, \dots$

Pavaizdavę $U_n(t)$ priklausomybę logaritminėje skalėje, gausime tiesę

$$\ln U_n = \ln U_0 - \beta t. \quad (14)$$

Pastaroji išraiška leidžia apskaičiuoti slopinimo koeficientą:

$$\beta = \frac{1}{t} \ln \frac{U_0}{U_n}, \quad (15)$$

Taip gautą jo reikšmę palyginsime su apskaičiuota pagal grandinės parametrus $\beta = \frac{R}{2L}$.

Iš bandymo duomenų nustatome virpesių periodą T ir palyginame jį su apskaičiuotu pagal formulę:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}, \quad (16)$$

Čia $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ virpesių kontūro savasis dažnis.

Logaritminį slopinimo dekrementą galime apskaičiuoti panaudoję (7) formulę:

$$\delta = \frac{1}{n} \ln \frac{U_0}{U_n}, \quad (17)$$

Virpesių kontūro kokybės matavimo rezultatus pagal (9) formulę palyginame su apskaičiuotais pagal (11) formulę.

Matavimų rezultatus rašome į lentelę.

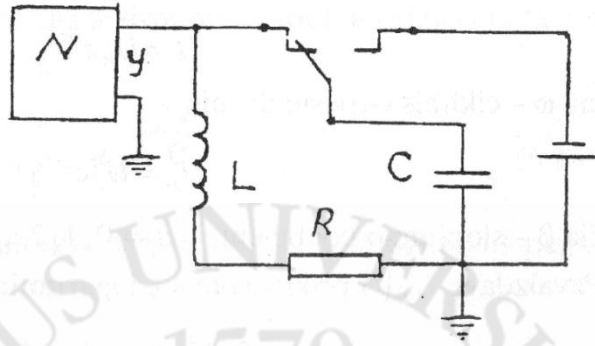
1 lentelė. Matavimų rezultatai.

Nr.	R	U_0	U_n	n	T	β	δ	Q
1.								

Skaičiavimų rezultatai surašomi į atskirą lentelę.

Tyrimo eiga:

- 1) Sujunkite grandinę taip, kaip parodyta 4 pav. **Pakvieskite dėstytoją, kad patikrintų ar teisingai sujungta grandinė.**



4 pav. Laisviejų elektromagnetinių virpesių rezonansiniame kontūre tyrimo schema.

Pastaba. Varžyno R varžą patartina keisti ribose $0-1000 \Omega$. Maitinimo šaltinio įtampa turėtų būti intervale $5-7 \text{ V}$.

- 2) Norėdami įkrauti kondensatorių, jungiklį perjunkite į tokią padėtį, kad kondensatorius su įtampos šaltiniu būtų sujungti į vieną grandinę (kondensatorius įkraunamas akimirksniu).
 - 3) Įkrovus kondensatorių, matavimai pradedami paspaudus oscilografo mygtuką Run/Stop.
 - 4) Perjunkite jungiklį, kad kondensatorius būtų įjungtas į grandinę kartu varžynu R ir indukcine rite L .
 - 5) Oscilografo ekrane stebimi slopstantys svyravimai, kaip parodyta 3 pav.
 - 6) Svyravimams nusilpus, spaudžiamas oscilografo mygtukas Run/Stop.
 - 7) Grafiko vaizdavimo lauko mastelis ir grafiko padėtis jame reguliuojami rankenėlėmis oscilografo blokeliuose „Horizontal“ ir „Vertical“ (visas grafikas turi tilpti atvaizdavimo lauke). Rankenėlė „Position“ leidžia stumdyti grafiką įvairiomis kryptimis, o „Scale“ - keisti jo mastelį.
 - 8) Toliau vykdoma veiksmų seka, nurodyta a) arba b) punktuose.
- a) Saugojimas į failą:
- 1) Įjungite USB atmintuką į tam skirtą lizdą oscilografe.
 - 2) Paspauskite mygtuką Save/Recall
 - 3) „Action“ laukelyje nustatykite „Save Waveform“.
 - 4) „Save To“ → „File“.

- 5) „Source“ → „CH1“ (Jei naudojamas šis oscilografo kanalas).
- 6) Spauskite „Select Folder“.
- 7) Atsiradusiame parinkčių lauke išsirinkite norimą aplanką – tai galite padaryti sukdami apvalią rankenėlę, esančią virš mygtuko „Save“.
- 8) Jei norite, kad duomenys būtų išsaugoti naujame aplanke, pasirinkite „New Folder“.
- 9) Aplanką pasirinkite paspausdami „Change Folder“.
- 10) Pasirinkę aplanką spauskite „Save ____ .CSV“. Čia ____ simbolizuoja bet kokią automatiškai sugeneruotą failo pavadinimą.
- 11) Duomenis iš failo apdorokite jums patinkančia programa.

b) Neturintys USB atmintuko duomenis gali apdoroti naudodamiesi oscilografo grafine aplinka:

- 1) Spauskite „Cursor“.
 - 2) Žymeklį (cursor) slinkti grafiku galima naudojantis apvalią rankenėlę, esančią virš mygtuko „Save“.
 - 3) Vieną iš žymeklių galima nustatyti grafiko pradžioje, o kitą slinkti grafiku. Tokiu būdu galima nustatyti svyravimų periodą ir amplitudės kitimą laikui bėgant (laiko tarpas tarp žymeklių oscilografo ekrane rodomas kaip Δt , o kiekvieno žymeklio padėtį atitinkanti grafiko įtampos vertė yra parodyta Cursor laukeliuose V).
- 9) Bandymas kartojamas (kartojami 2–8 punktai) pakeitus ominės varžos R vertę (5–7 skirtingos varžos vertės).

Atlikę bandymus su keliomis R vertėmis, užtrumpinkite pusę ritės L (taip pusiau sumažinsite ritės vijų skaičių, o tuo pačiu ir ritės L induktyvumo vertę) ir visą veiksmų seką kartokite iš naujo (bandymai taip pat atliekami su keliomis varžos R vertėmis).

Dydžių vertės, gautos atliekant skaičiavimus remiantis matavimo rezultatais, ir vertės, gautos dydžius apskaičiavus teoriškai, palyginamos ir padaromos išvados.

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.