

18-ASIS FIZIKOS TURNYRAS
14-oji užduotis Nr. FT18-14 / 2025 04 07 – 2025 05 04

Keičiamo induktyvumo ritė
(Mintinis eksperimentas)

Sąlyga / FT18-14 ▼

Ritės, kurios induktyvumą galima keisti, stumdant joje feromagnetinės medžiagos šerdį, pradinis induktyvumas $L_0 = 6 \text{ mH}$. Ši ritė, nuosekliai sujungta su $R = 15 \text{ } \Omega$ varžu, jungikliu prijungiama prie elektros srovės šaltinio, kurio elektromotinė jėga $E = 4,5 \text{ V}$. Laiko momentu t_1 po prijungimo, kai ritėje saviindukcijos elektromotinė jėga $E_{i1} = -1,5 \text{ V}$, šerdis pradeda stumti į ritę ir $\tau = 0,8 \text{ ms}$ laiko tarpe stumiama taip, kad saviindukcijos elektromotinė jėga nesikeistų. Raskite:

- 1) Saviindukcijos elektromotinę jėgą pradinio prijungimo momentu;
- 2) Elektros srovės stiprį laiko momentu t_1 ;
- 3) Induktyvumo kitimo greitį;
- 4) Induktyvumo pokytį laiko tarpe τ ;
- 5) Induktyvumo priklausomybę nuo laiko.

Užduotį parengė doc. dr. Stasys Tamošiūnas – Vilniaus universiteto Fizikos fakulteto Fotonikos ir nanotechnologijų instituto senjoras, mokyklos „Fizikos olimpas“ direktorius, steigėjų tarybos narys ir dėstytojas.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2025 04 07.

Aiškinamasis sprendimas / FT18-14 ▼

Duota: $L_0 = 6 \cdot 10^{-3} \text{ H}$; $R = 15 \text{ } \Omega$; $E = 4,5 \text{ V}$; $E_{i1} = -1,5 \text{ V}$; $\tau = 8 \cdot 10^{-4} \text{ s}$.

Rasti: E_{i0} ; I_1 ; $\frac{dL}{dt}$; ΔL ; $L(t)$.

Iškart po prijungimo elektros srovė neteka, nes saviindukcijos elektromotinė jėga ritėje yra to paties dydžio, tik priešingos krypties, nei elektros srovės šaltinio elektromotinė jėga:

$$E + E_{i0} = 0; \quad E_{i0} = -E = -4,5 \text{ (V)}.$$

Jei elektros srovės šaltinio vidinė varža labai maža ($r \ll R$), tai laiko tarpe τ teka nuolatinė elektros srovė, kurios stipris pagal Omo dėsnį:

$$I_1 = \frac{E + E_{i1}}{R}; \quad I_1 = \frac{4,5 - 1,5}{15} = 0,2 \text{ (A)}.$$

Bendruoju atveju pagal elektromagnetinės indukcijos dėsnį saviindukcijos elektromotinę jėgą ritėje lemiantis magnetinio srauto $\Phi = LI$ kitimo greitis gali būti siejamas su elektros srovės stipriu ir su ritės induktyvumo kitimo greičiais:

$$E_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -\left(\frac{dL}{dt}I + L\frac{dI}{dt}\right).$$

Šiame eksperimente sudarytos tokios sąlygos, kad abu kitimai atskiriami laiko momentu t_1 .

Kai ritės induktyvumas nekeičiamas, stiprio I_1 srovė pasiekama laiko momentu t_1 , randamu iš LR elektrinę grandinę po prijungimo prie šaltinio aprašančios diferencialinės lygties sprendinio:

$$E - L_0 \frac{dI}{dt} = RI; \quad I_1 = \frac{E}{R} (1 - e^{-RL_0^{-1}t_1});$$

$$t_1 = -\frac{L_0}{R} \ln \left(1 - \frac{I_1 R}{E} \right); \quad t_1 = -\frac{6 \cdot 10^{-3}}{15} \ln \left(1 - \frac{0,2 \cdot 15}{4,5} \right) \approx 0,44 \text{ (ms)}.$$

Laikykime, kad rasta t_1 skaitinė vertė yra pakankamai tiksli pasinaudojimui, toliau atsakant į penktąjį užduoties klausimą.

Elektros srovės stipriui nekintant, saviindukcijos elektrovėra yra tiesiai proporcinga ritės induktyvumo kitimo greičiui:

$$E_{i1} = -I_1 \frac{dL}{dt}; \quad \frac{dL}{dt} = -\frac{E_{i1}}{I_1}; \quad \frac{dL}{dt} = \frac{1,5}{0,2} = 7,5 \text{ (H/s)}.$$

Pastaba: induktyvumo pokytis yra 7,5 mH milisekundei.

Pagal užduoties sąlygą ritės induktyvumas buvo tiesiškai didinamas tik laiko tarpe τ , tai induktyvumo pokytis per tą laiko tarpą ΔL , induktyvumo priklausomybė nuo laiko $L(t)$, kai milisekundėmis matuojamas laikas yra intervale $t_1 \leq t \leq t_1 + \tau$, o ir induktyvumas laiko momentu $t_2 = t_1 + \tau$ yra šie:

$$\Delta L = \frac{dL}{dt} \tau; \quad \Delta L = 7,5 \cdot 8 \cdot 10^{-4} = 6 \text{ (mH)};$$

$$L(t_1) = L_0; \quad L(t) = L_0 + \frac{dL}{dt} (t - t_1); \quad L(t) = 6 + 7,5(t - 0,44) \text{ (mH)};$$

$$0,44 \text{ ms} \leq t \leq 1,24 \text{ ms};$$

$$L(t_2) = L_0 + \Delta L; \quad L(t_2) = 6 + 6 = 12 \text{ (mH)}.$$

Taigi, įvedant feromagnetinės medžiagos šerdį, ritės induktyvumas buvo padidintas du kartus.

Aiškinamąjį sprendimą pateikė užduoties autorius doc. dr. Stasys Tamošiūnas.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2025 05 08.

Turnyro dalyvių sprendimų aptarimas / FT18-14 ▼

Į keturis pirmuosius užduoties klausimus buvo galimybė atsakyti nesuradus laiko momento t_1 , tuo tarpu penktajam klausimui apie induktyvumo priklausomybę nuo laiko reikėjo įrašyti konkretų rastą to laiko momento dydį. Vienas turnyro dalyvis atsakė į visus pateiktus klausimus.

Sprendimų aptarimą parengė užduoties autorius doc. dr. Stasys Tamošiūnas.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2025 05 08.

Sprendimų vertinimo kriterijų ir jų verčių lentelė / FT18-14 ▼

Nr.	Sprendimų vertinimo kriterijus	Vertė balais
1.	Pradinė saviindukcijos elektrovara	2
2.	Elektros srovės stipris	2
3.	Induktyvumo kitimo greitis	2
4.	Induktyvumo pokytis	2
5.	Induktyvumo priklausomybė nuo laiko	2
6.	Kiti netikslumai (kiekvienam iš kriterijų Nr. 1-5)	iki (-1)
Didžiausias galimas sprendimų įvertinimas		10

Sprendimų vertinimo kriterijų ir jų verčių lentelę parengė užduoties autorius doc. dr. Stasys Tamošiūnas.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2025 05 08.