

15-ASIS FIZIKOS TURNYRAS
11-oji užduotis Nr. FT15-11 / 2022 01 31 – 2022 02 27

Juodosios dėžės tyrimas

Sąlyga / FT15-11 ▼

Juodoji dėžė lektuve ar laive – tai itin sudėtingas įtaisas, skirtas įgulos narių pokalbiams ir informacijai apie svarbiausių techninių sistemų būklę ir veikimą įrašyti. Įvykus katastrofai, visada ieškoma būtent juodosios dėžės, kurioje išlikusius įrašus išanalizavus dažnai pavyksta nustatyti tikrąsias įvykio priežastis.

Čia pateikta juodoji dėžė – tai tris elektros gnybtus išorėje turinti uždaryta neskaidri dėžutė, kurios viduje paslėptų fizikinių prietaisų nepavyko pamatyti ją tik apžiūrint, todėl teko atlikti fizikinį eksperimentą, kurio duomenys yra surašyti žemiau.

Prie dviejų (pirmojo ir antrojo) juodosios dėžės gnybtų nuosekliai prijungus $3,4\Omega$ varžą, $0,5\Omega$ vidinės varžos 10 V elektrovaros šaltinį ir $0,1\Omega$ varžos ampermetrą, pastarasis rodė $0,4\text{ A}$ stiprio elektros srovę. Šaltinį pakeitus kitu tos pačios vidinės varžos, bet 6 V didesnės elektrovaros, šaltiniu, ampermetras rodė $0,8\text{ A}$ stiprio srovę. Tą patį prijungus prie pirmojo ir trečiojo dėžės gnybtų, ampermetro rodmenys abiem atvejais buvo keturis kartus mažesni, $0,1\text{ A}$ ir $0,2\text{ A}$.

Kas paslėpta toje dėžėje?

Jungiamųjų laidų varža labai maža, todėl galima į ją neatsižvelgti.

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

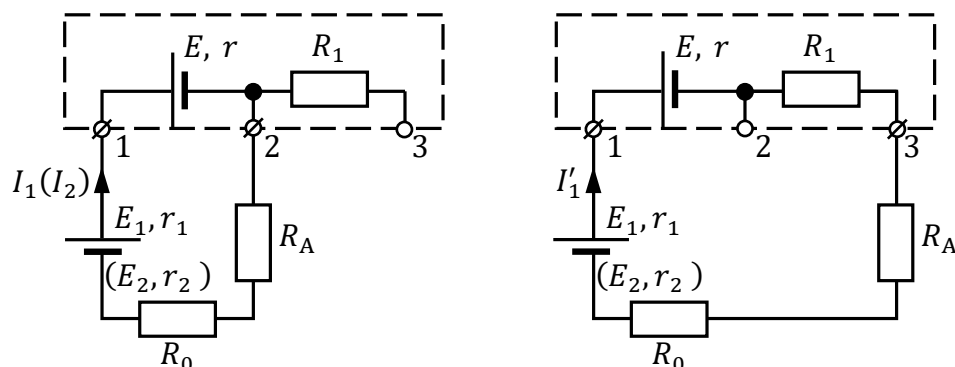
▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2022 01 31.

Aiškinamasis sprendimas / FT15-11 ▼

Duota: $R_0 = 3,4\Omega$; $r_1 = r_2 = 0,5\Omega$; $E = 10\text{ V}$; $R_A = 0,1\Omega$; $I_1 = 0,4\text{ A}$; $E_2 = 16\text{ V}$; $I_2 = 0,8\text{ A}$; $I'_1 = 0,1\text{ A}$; $I'_2 = 0,2\text{ A}$.

Rasti: E, r, R .

Dėžėje tarp pirmojo ir antrojo gnybtų negali būti vien tik varžas, nes prijungus antrąjį šaltinį elektros srovė sustiprėjo 2 kartus, o ne 1,6 karto, kiek kartų padidėjo prijungiamo šaltinio elektrovara ($E_2: E_1 = 1,6$).



Tegu dėžėje (paveiksluose ji apibrėžta brūkšnine linija) yra elektros srovės šaltinis, kurio vidinė varža r ir elektrovara E , o to šaltinio teigiamo krūvio elektrodas dėžės viduje yra prijungtas prie pirmojo gnybto. Jei to šaltinio elektrovara yra mažesnė už prie dėžės prijungiamų šaltinių elektrovaras E_1 ir E_2 , tai užduoties sąlygoje pateiktus eksperimento rezultatus įmanoma gauti tų šaltinių teigiamo krūvio elektrodus prijungus irgi prie pirmojo dėžės gnybto. Abiem atvejais elektros srovių kryptys yra vienodos (jas lemia prijungiami šaltiniai), o srovių stipriai pagal Omo dėsnį pilnoms grandinėms:

$$I_1 = \frac{E_1 - E}{R_0 + r_1 + R_A + r}; \quad I_2 = \frac{E_2 - E}{R_0 + r_2 + R_A + r}.$$

Eliminavę varžas randame elektrovarą:

$$(E_1 - E)I_2 = (E_2 - E)I_1;$$

$$E = \frac{E_1 I_2 - E_2 I_1}{I_2 - I_1}; \quad E = \frac{10 \cdot 0,8 - 16 \cdot 0,4}{0,8 - 0,4} = 4 \text{ (V)}.$$

Iš pirmosios lygties:

$$r = \frac{E_1 - E}{I_1} - R_0 - r_1 - R_A; \quad r = \frac{10 - 4}{0,4} - 3,4 - 0,5 - 0,1 = 11 \text{ (}\Omega\text{)}.$$

Radome, kad tarp pirmojo ir antrojo gnybtų dėžėje gali būti prijungtas 4 V elektrovaros 11 Ω vidinės varžos elektros srovės šaltinis^{x)} (arba: 4 V elektrovaros itin mažos varžos šaltinis, nuosekliai sujungtas su 11 Ω varžū).

Prisijungus prie pirmojo ir trečiojo dėžės gnybtų elektros srovė susilpnėja 4 kartus dėl tarp antrojo ir trečiojo gnybtų dėžės viduje prijungto varžo R_1 :

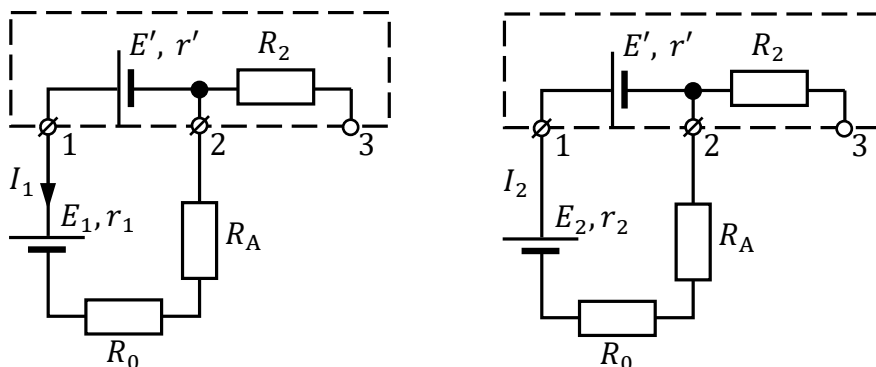
$$I'_1 = \frac{E - E_1}{R_0 + r_1 + R_A + r + R_1} = \frac{I_1}{4};$$

$$R_0 + r_1 + R_A + r + R_1 = 4(R_0 + r_1 + R_A + r);$$

$$R_1 = 3(R_0 + r_1 + R_A + r); \quad R_1 = 3(3,4 + 0,5 + 0,1 + 11) = 45 \text{ (}\Omega\text{)}.$$

Taigi, dėžės viduje yra 4 V elektrovaros 11 Ω vidinės varžos elektros srovės šaltinio^{x)} ir 45 Ω varžo nuoseklus junginys.

Yra galimas ir antras variantas, kuomet dėžėje patalpinto šaltinio elektrovara E' yra didesnė, nei pirmojo šaltinio elektrovara E_1 , ir mažesnė, nei antrojo šaltinio elektrovara E_2 . Tada grandinėse tekančių elektros srovių kryptys yra priešingos, o jų stipriai pagal Omo dėsnį pilnai grandinei:



$$I_1 = \frac{E' - E_1}{R_0 + r_1 + R_A + r'}; \quad I_2 = \frac{E_2 - E'}{R_0 + r_2 + R_A + r'}.$$

Randame kitą šaltinio elektrovarą ir kitas varžas:

$$(E' - E_1)I_2 = (E_2 - E')I_1;$$

$$E' = \frac{E_1 I_2 + E_2 I_1}{I_1 + I_2}; \quad E' = \frac{10 \cdot 0,8 + 16 \cdot 0,4}{0,4 + 0,8} = 12 \text{ (V)}.$$

$$r' = \frac{E' - E_1}{I_1} - R_0 - r_1 - R_A; \quad r' = \frac{12 - 10}{0,4} - 3,4 - 0,5 - 0,1 = 1 \text{ (\Omega)}.$$

Radome, kad tarp pirmojo ir antrojo gnybtų dėžėje gali būti prijungtas 12 V elektros srovės šaltinis^{xx)} (arba 12 V elektros šaltinis itin mažos varžos šaltinis, nuosekliai sujungtas su 1 Ω varžų).

Prisijungus prie pirmojo ir trečiojo dėžės gnybtų elektros srovė susilpnėja 4 kartus dėl tarp antrojo ir trečiojo gnybtų dėžės viduje prijungto varžo R_2 :

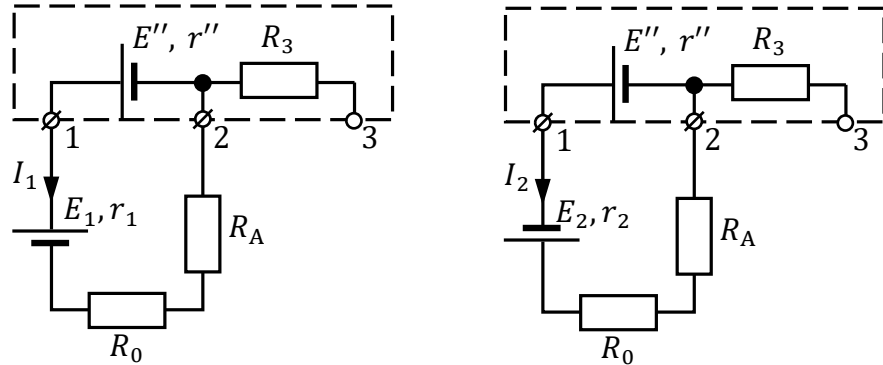
$$I'_1 = \frac{E' - E_1}{R_0 + r_1 + R_A + r' + R_2} = \frac{I_1}{4};$$

$$R + r_1 + R_A + r' + R_2 = 4(R + r_1 + R_A + r');$$

$$R_2 = 3(R + r_1 + R_A + r'); \quad R_2 = 3(3,4 + 0,5 + 0,1 + 1) = 15 \text{ (\Omega)}.$$

Taigi, pagal antrąją variantą dėžės viduje yra 12 V elektros srovės šaltinis^{xx)} ir 15 Ω varžos nuoseklus junginys.

Galimas dar ir trečias variantas, kai dėžėje paslėpto elektros srovės šaltinio elektros srovė yra didesnė už prie jos gnybtų prijungiamų šaltinių elektros sroves ir prie pirmojo dėžės gnybto yra prijungtas neigiamas antrojo šaltinio elektros srovės šaltinis:



$$I_1 = \frac{E'' - E_1}{R_0 + r_1 + R_A + r''}; \quad I_2 = \frac{E'' + E_2}{R_0 + r_2 + R_A + r''}.$$

Randame kitas šaltinio elektros srovės šaltinį ir varžas:

$$(E'' - E_1)I_2 = (E'' + E_2)I_1;$$

$$E'' = \frac{E_1 I_2 + E_2 I_1}{I_2 - I_1}; \quad E'' = \frac{10 \cdot 0,8 + 16 \cdot 0,4}{0,8 - 0,4} = 36 \text{ (V)}.$$

$$r'' = \frac{E'' - E_1}{I_1} - R_0 - r_1 - R_A; \quad r'' = \frac{36 - 10}{0,4} - 3,4 - 0,5 - 0,1 = 61 \text{ (\Omega)}.$$

$$I'_1 = \frac{E' - E_1}{R_0 + r_1 + R_A + r'' + R_3} = \frac{I_1}{4};$$

$$R_0 + r_1 + R_A + r'' + R_3 = 4(R_0 + r_1 + R_A + r'');$$

$$R_3 = 3(R_0 + r_1 + R_A + r''); \quad R_3 = 3(3,4 + 0,5 + 0,1 + 61) = 195 \text{ (\Omega)}.$$

Taigi, pagal trečiąją variantą dėžės viduje yra 36 V elektros srovės šaltinis (arba: 36 V elektros šaltinis itin mažos vidinės varžos šaltinis bei nuosekliai jam prijungtas 61 Ω varžas) ir 195 Ω varžos nuoseklus junginys.

Jei dėžės viduje prie jos pirmojo gnybto būtų prijungtas elektros srovės šaltinio neigiamo krūvio elektrodas, tai tuos pačius skaičiavimo rezultatus gautume prie gnybtų išorėje prijungę duotus du šaltinius priešingai, nei parodyta pateiktuose paveiksluose, tuo pačiu ir elektros srovių kryptys būtų priešingos, nei tuose paveiksluose.

Užduoties sąlygoje nėra papildomų duomenų, pagal kuriuos pavyktų lengviau pasirinkti kurią nors vieną junginio variantą. Nepaminėta, ar pakito elektros srovės kryptis, prijungus antrąjį šaltinį, kaip yra antrame variante, o ir ar reikėjo jį prijungti prie dėžės gnybtų priešingais poliais, nei buvo prijungtas pirmasis šaltinis, kad elektros srovės kryptis nepakistų, kaip yra trečiajame variante. Tokių papildomų klausimų nekyla priimtinesniu laikytiname pirmame variante, kai dėžėje yra nuosekliai sujungti 4 V elektrovaros 11 Ω vidinės varžos elektros srovės šaltinis ir 45 Ω varžas, nebent kiltų diskusija, kurią tų 11Ω dalį priskirti šaltinio vidinei varžai ir kurią likusią nuo to dalį priskirti nuosekliai šaltiniui prijungtam varžui.

Netektų spėlioti, jei dėžė su duotais prietaisais būtų šalia, tai galėtume ne tik patikslinti tai, kas užduoties sąlygoje nebuvo paminėta, o ir atlikti naujus elektros srovės stiprio matavimus. Pavyzdžiui, pirmajame variante pakeitus vietomis pirmojo šaltinio polius, elektros srovė taptų priešingos krypties ir sustiprėtų tiek kartų, kiek kartų padidėjo suminė elektrovara:

$$\frac{I''_{11}}{I_1} = \frac{E_1+E}{E_1-E}; \quad I''_{11} = 0,4 \frac{10+4}{10-4} \approx 0,93 \text{ (A)}.$$

Tokio pakeitimo sukelti elektros srovės stiprio pokyčiai kituose variantuose:

$$\frac{I''_{12}}{I_1} = \frac{E'+E_1}{E'-E_1}; \quad I''_{12} = 0,4 \frac{12+10}{12-10} = 4,4 \text{ (A)}.$$

$$\frac{I''_{13}}{I_1} = \frac{E''+E_1}{E''-E_1}; \quad I''_{13} = 0,4 \frac{36+10}{36-10} \approx 0,7 \text{ (A)}.$$

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

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2022 03 28.

Turnyro dalyvių sprendimų aptarimas / FT15-11 ▼

Dauguma turnyro dalyvių nagrinėjo tik pirmąjį junginio variantą, pagal kurį juodojoje dėžėje yra 4 V elektrovaros šaltinis ir 11 Ω bei 45 Ω varžai. Kaip ir pateiktame aiškinamajame sprendime, čia iškyla problema, kam priskirti tuos 11Ω, randamus pagal matavimų rezultatus, kai du šaltiniai prijungiami prie juodosios dėžės pirmojo ir antrojo gnybtų – šaltinio vidinei varžai ar prie itin mažos vidinės varžos šaltinio nuosekliai prijungtam varžui, nors gnybto pavidalu dėžės išorėn ta sujungimo vieta neišvesta. Vienas dalyvis rado, kad dėžės viduje yra du po 4 V elektrovaros šaltiniai – vienas šaltinis su 11 Ω varžu prijungtas tarp pirmojo ir antrojo dėžės gnybtų, o kitas šaltinis su 56 Ω varžu – tarp pirmojo ir trečiojo gnybtų. Kitas dalyvis vieną 4 V elektrovaros šaltinio polių rado prijungtą prie pirmojo dėžės gnybto, o kitą polių – jos viduje sujungtą su 11 Ω ir 56 Ω varžais, prijungtais prie antrojo ir trečiojo gnybtų. Penki dalyviai įtarė dėžėje paslėptą varžinį darinį, kurio elektrinės savybės priklauso nuo prijungtos įtampos ir temperatūros, o dar kiti penki vėlavo pateikti sprendimus.

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

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2022 03 28.

Sprendimų vertinimo kriterijų ir jų verčių lentelė / FT15-11 ▼

Nr.	Sprendimų vertinimo kriterijus	Vertė balais
1.	4 V šaltinis ir varžai	9
2.	Kiti galimi šaltiniai	1
3.	Vėlavimas pateikti sprendimą (vienai parai)	-2
4.	Netikslumai (kiekvienam iš kriterijų Nr.1-2)	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 2022 03 28.