

## Netiesinė dinamika elektrinėse grandinėse (10 taškų)

Prieš pradėdami spręsti šį uždavinį perskaitykite bendrąsias instrukcijas iš atskiro voko.

### Įvadas

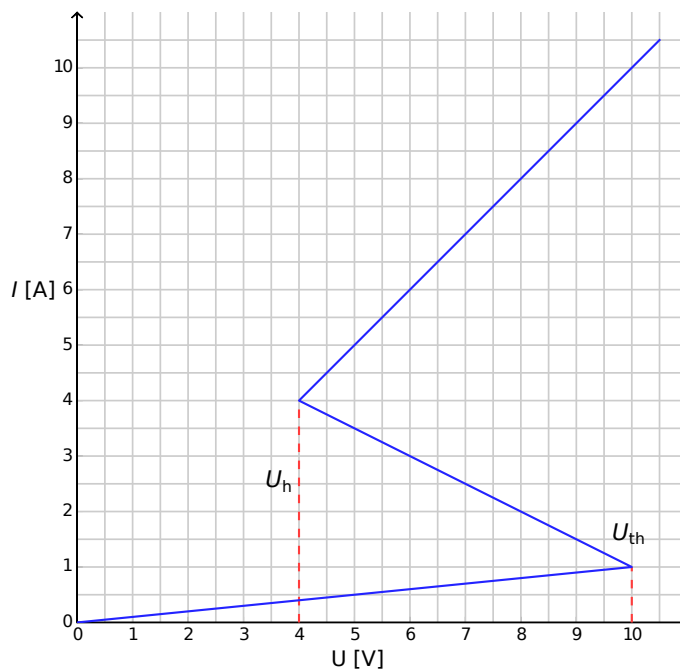
Bistabilūs netiesiniai puslaidininkiniai elementai (pvz., tiristoriai) yra plačiai naudojami elektronikoje kaip jungikliai ir elektromagnetinių virpesių generatoriai. Tiristorių panaudojimo pagrindinė sritis yra kintamosios srovės valdymas, pvz., momentiniam kintamosios srovės konvertavimui į nuolatinę srovę esant magavatų galiai. Bistabilūs elementai taip pat gali būti naudojami kaip modelinė sistema tiriant saviorganizacijos reiškinius fizikoje (tai panagrinėsime uždavinio B dalyje), biologijoje (žr. C dalį) bei kitose šiuolaikinio netiesinio mokslo šakose.

### Tikslai

Ištirti nestabilumus ir netrivialią dinamiką elektros grandinėse, turinčiose elementus su netiesine voltamperine ( $I - V$ ) charakteristika. Atrasti tokių elektros grandinių galimus taikymus inžinerijoje bei modeliuojant biologines sistemas.

### A dalis. Stacionariosios būsenos ir nestabilumai (3 taškai)

1 pav. parodyta vadinamojo **S tipo** netiesinio elemento  $X$  volt-amperinė charakteristika. Krintančios įtampos srityje tarp  $U_h = 4.00$  V (palaikymo įtampa) ir  $U_{th} = 10.0$  V (slenkstinė įtampa) ši  $I - V$  charakteristika turi kelias srovės stiprio reikšmes. Paprastumo dėlei ši priklausomybė 1 pav. parinkta taip, kad būtų sudaryta iš trijų tiesių segmentų; be to, viršutinė šaka, ją pratęsus, eina per atskaitos tašką (0; 0). Toks supaprastinimas neblogai aprašo realius tiristorius.



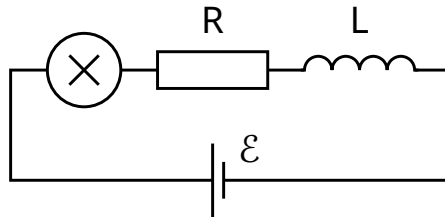
1 pav.: Netiesinio elemento  $X$  voltamperinė charakteristika.

- A.1** Naudodamiesi grafiku, nustatykite elemento  $X$  varžą  $R_{\text{on}}$  viršutinėje  $I - V$  charakteristikos šakoje ir varžą  $R_{\text{off}}$  apatinėje šakoje. Vidurinę šaką aprašo lygtis 0.4pt

$$I = I_0 - \frac{U}{R_{\text{int}}}. \quad (1)$$

Raskite parametrų  $I_0$  ir  $R_{\text{int}}$  vertes.

Elementas  $X$  nuosekliai sujungiamas su rezistoriumi  $R$ , induktyvumu  $L$  ir idealiu įtampos šaltiniu  $\mathcal{E}$ . Sakysime, jog grandinė yra stacionarioje būsenoje, jeigu joje tekanti srovė nesikeičia laikui bėgant:  $I(t) = \text{const}$ .



2 pav.: Elektrinė grandinė, sudaryta iš elemento  $X$ , rezistoriaus  $R$ , induktyvumo  $L$  ir įtampos šaltinio  $\mathcal{E}$ .

- A.2** Kokie yra galimi 2 pav. parodytos grandinės stacionarių būsenų skaičiai esant fiksuotai  $\mathcal{E}$  reikšmei bei varžai  $R = 3.00 \Omega$ ? Kaip pasikeis rezultatas pasirinkus  $R = 1.00 \Omega$ ? 1pt

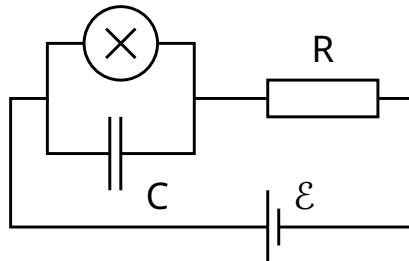
- A.3** Tegul 2 pav. parodytoje grandinėje  $R = 3.00 \Omega$ ,  $L = 1.00 \mu\text{H}$  ir  $\mathcal{E} = 15.0 \text{ V}$ . Apskaičiuokite stacionarioje būsenoje netiesiniu elementu  $X$  tekančios srovės stiprį  $I_{\text{stationary}}$  ir šio elemento įtampą  $V_{\text{stationary}}$ . 0.6pt

Tegul 2 pav. grandinė yra stacionarioje būsenoje, o joje teka srovė  $I(t) = I_{\text{stationary}}$ . Ši stacionari būseną vadinama stabilia, jeigu nežymiai pakeitus (padidinus ar sumažinus) tekančios srovės stiprį, ilgainiui srovės stipris grįžta prie pradinės reikšmės. Priešingai, jeigu sistemoje tekančios srovės stiprio vertė toliau tolsta nuo pradinės stacionarios reikšmės, sakysime, ksd ši būseną yra nestabili.

- A.4** Naudodami skaitines reikšmes iš klausimo **A.3**, išnagrinėkite stacionariosios būsenos, kurioje  $I(t) = I_{\text{stationary}}$ , stabilumą. Kokia yra ši būseną: stabili ar nestabili? 1pt

## B dalis. Bistabilūs netiesiniai elementai fizikoje: radijo siųstuvas (5 taškai)

Dabar panagrinėsime 3 pav. parodytą elektrinę grandinę. Šį kartą netiesinis elementas  $X$  lygiagrečiai sujungtas su talpos  $C = 1.00 \mu\text{F}$  kondensatoriumi. Ši dalis po to nuosekliai prijungiama prie varžos  $R = 3.00 \Omega$  rezistoriaus ir idealaus įtampos  $\mathcal{E} = 15.0 \text{ V}$  šaltinio. Pasirodo, jog šioje grandinėje vyksta virpesiai, kurių kiekviename cikle netiesinis elementas  $X$  "šokinėja" nuo vienos savo  $I - V$  charakteristikos prie kitos.



3 pav.: Grandinė su netiesiniu elementu  $X$ , kondensatoriumi  $C$ , rezistoriumi  $R$  bei įtampos šaltiniu  $\mathcal{E}$ .

**B.1** Voltamperinėje charakteristikoje nubraižykite visą vykstančių virpesių ciklą, nurodydami šio ciklo kryptį (pagal ar prieš laikrodžio rodyklę). Savo atsakymą pagrįskite lygtimis ar schematiniais grafikais. 1.8pt

**B.2** Nustatykite išraiškas laikams  $t_1$  ir  $t_2$ , kuriuos vieno virpesių ciklo metu sistema praleidžia kiekvienoje  $I-V$  charakteristikos dalyje. Apskaičiuokite šių laikų skaitines vertes. Laikydami, jog tarp savo  $I-V$  charakteristikos šakų netiesinis elementas "šokinėja" labai greitai, apskaičiuokite viso virpesių periodo  $T$  skaitinę vertę. 1.9pt

**B.3** Įvertinkite vidutinę galią  $P$ , kuri išsiskiria netiesiniame elemente per vieną virpesį. Užtenka gauti teisingą atsakymo eilę. 0.7pt

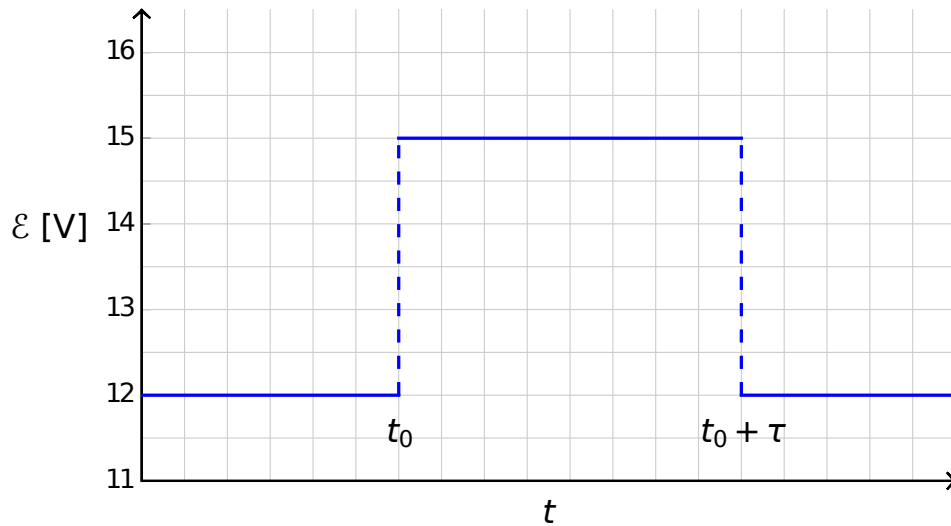
3 pav. grandinė buvo panaudota gaminant radijo siųstuvą. Tam tikslui elementas  $X$  buvo prijungtas prie ilgio  $s$  tiesios antenos (ilgo tiesaus laido) vieno galo. Kitas laido galas paliktas laisvas. Šioje antenoje formuojama elektromagnetinė banga, kurios greitis išilgai antenos yra toks pat, kaip ir vakuume. Siųstuvus naudoja pagrindinę sistemos harmoniką, atitinkamos bangos periodas  $T$  apskaičiuotas **B.2** klausime.

**B.4** Kokia yra optimali  $s$  vertė, jeigu ji negali viršyti 1 km? 0.6pt

### C dalis. Bistabilūs netiesiniai elementai biologijoje: neuristorius (2 taškai)

Šioje uždavinio dalyje pritaikysime bistabilų netiesinį elementą, modeliuodami biologinį procesą. Žmonių smegenų neuronas pasižymi tokia savybe: būdamas sužadintas išoriniu signalu, jis padaro vieną virpesį ir po to sugrįžta į pradinę būseną. Ši savybė dar vadinama jaudrumu. Dėl šios savybės impulsai gali skliti per sujungtų neuronų tinklą, kuris ir sudaro nervų sistemą. Puslaidininkinė mikroschema, pagaminta siekiant atkartoti neuronų jaudrumą ir impulsų sklidimų, vadinama *neuristoriumi* (nuo *neuronas* ir *tranzistorius*).

Pabandykite sumodeliuoti paprastą neuristorių, naudodami elektros grandinę, kurioje bus mūsų anksčiau nagrinėtas netiesinis elementas  $X$ . Tam tikslui 3 pav. parodyto šaltinio elektrovara sumažinama iki  $\mathcal{E}' = 12.0$  V. Virpesiams pasibaigus, sistema pasiekia savo stacionarią būseną. Tada elektrovara greitai trumpam padidinama vėl iki  $\mathcal{E} = 15.0$  V, o po laiko tarpo  $\tau$  (čia  $\tau < T$ ) vėl sumažinama iki pradinės vertės  $\mathcal{E}'$  (žr. 4 pav.). Pasirodo, egzistuoja tam tikra kritinė reikšmė  $\tau_{\text{crit}}$ , ir sistemos elgesys kokybiškai skiriasi, kai  $\tau < \tau_{\text{crit}}$  ir kai  $\tau > \tau_{\text{crit}}$ .



4 pav.: Šaltinio elektrovaros priklausomybė nuo laiko.

**C.1** Nubraižykite schematinį grafiką, rodantį, kaip nuo laiko priklauso per netiesinį elementą  $X$  tekančios srovės stipris  $I_X(t)$ . Panagrinėkite atvejus, kai  $\tau < \tau_{\text{crit}}$  ir kai  $\tau > \tau_{\text{crit}}$ . 1.2pt

**C.2** Gaukite kritinės trukmės  $\tau_{\text{crit}}$ , skiriančios abu scenarijus, išraišką ir apskaičiuokite jos skaitinę vertę. 0.6pt

**C.3** Ar grandinė, kurioje  $\tau = 1.00 \times 10^{-6} \text{ s}$ , yra neuristorius? 0.2pt