

31. Varžos, induktyvumo ir talpos radimas Vitstono tilteliu

Užduotis

1. Subalansavus elektros srovės Vitstono tiltelyje išmatuoti rezistorių aktyvines (omines) varžas, ričių induktyvumus ir kondensatorių elektrines talpas.

Pagrindiniai teoriniai klausimai

1. Kirchhofo taisyklės nuolatinės ir kintamosios srovės grandinėms.
2. Fazių skirtumas tarp srovės ir įtampos kintamosios srovės grandinėje.
3. Induktyviosios ir talpinės varžų fizikinė prasmė.

Tyrimo metodika

Vitstono tiltelį sudaro ištiesta ant metrinės liniuotės viela su stumdому slankiuoju kontaktu (reochordas) ir du rezistoriai, kurių impedansai gali būti kompleksiniai, prie įtampos U šaltinio sujungti į uždara elektros grandinę (1 pav.). Pritaikius Kirchhofo taisykles, gaunamos subalansuoto tiltelio sąlygos, kurios susieja vielos dalių elektrines varžas R_1 ir R_2 su nežinomu impedansu Z_3 , kurį reikia nustatyti, ir žinomu etaloniniu impedansu Z_4 . Šuntuojančioje tiltelio dalyje, kur 1 pav. parodytas ampermetras, elektros srovė neteka, kai

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{Z_3}{Z_4}. \quad (1)$$

Bendroji kompleksinė impedanso Z išraiška yra

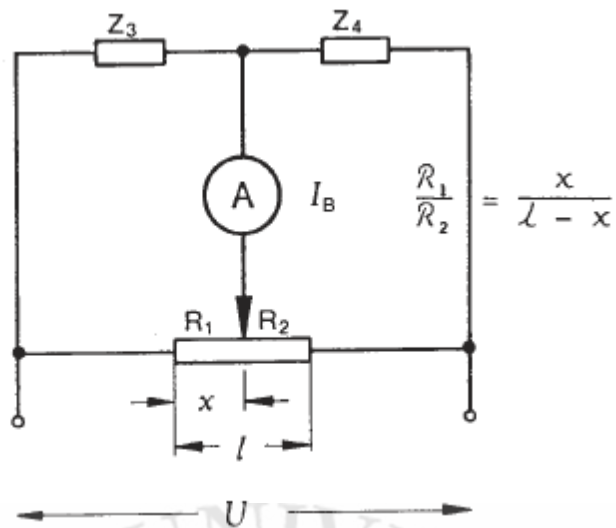
$$Z = R + i \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right), \quad (2)$$

kur R yra aktyvinė (ominė) varža, $i = \sqrt{-1}$, ciklinis dažnis $\omega = 2\pi f$, f - įtampos kitimo dažnis, L - induktyvumas, C - elektrinė talpa.

Įstatę tai į (1), gauname:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3 + i \left(\omega L_3 - \frac{1}{\omega C_3} \right)}{R_4 + i \left(\omega L_4 - \frac{1}{\omega C_4} \right)}. \quad (3)$$

Abiejose lygties pusėse realiosios ir menamosios dalys turi būti lygios, iš to gauname amplitudžių lygybės sąlygą:



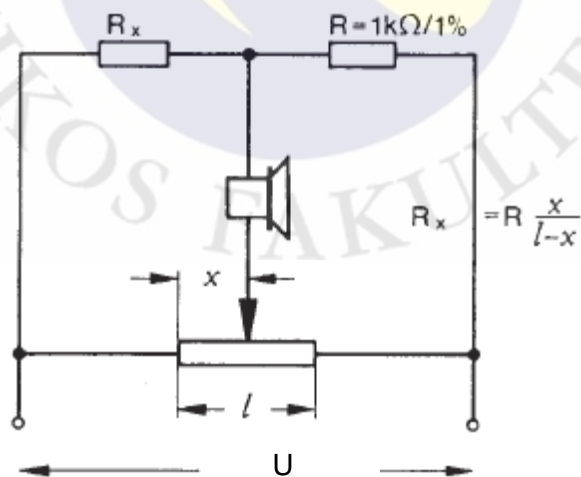
1 pav. Vitstono tiltelis.

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3 R_4 + \left(\omega L_3 - \frac{1}{\omega C_3} \right) \left(\omega L_4 - \frac{1}{\omega C_4} \right)}{R_4^2 + \left(\omega L_4 - \frac{1}{\omega C_4} \right)^2} \quad (4)$$

ir fazių lygybės sąlygą

$$R_4 \left(\omega L_3 - \frac{1}{\omega C_3} \right) = R_3 \left(\omega L_4 - \frac{1}{\omega C_4} \right) \quad (5)$$

Aktyvinių varžų atveju lygtis (4) supaprastėja:



2 pav. Varžos matavimo schema.

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (6)$$

Varža R_1 yra proporcinga atstumui x nuo vielos pradžios iki slankiojo kontakto, o varža R_2 - atstumui $l - x$ nuo slankiojo kontakto iki vielos galo, tai jų santykis

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{x}{l - x}. \quad (7)$$

Palyginę tarpusavyje (6) ir (7) bei pagal 2 pav. pažymėjimus turime:

$$R_x = R \frac{x}{l - x}. \quad (8)$$

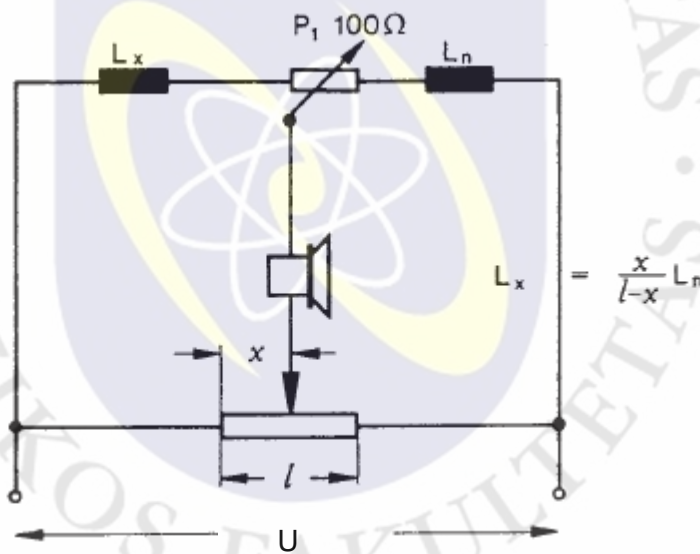
Čia R - etaloninė varža.. Žinant R, l ir nustačius x galima rasti tiriamo rezistoriaus varžą.

Paveiksle 3 pavaizduotas Vitstono tiltelis su tiriamąja ir etalonine ritėmis. Realios ritės be induktyvinių varžų turi ir omines varžas:

$$Z_3 = R_3 + i\omega L_3, \quad Z_4 = R_4 + i\omega L_4 \quad (9)$$

Iš (5) lygties gauname:

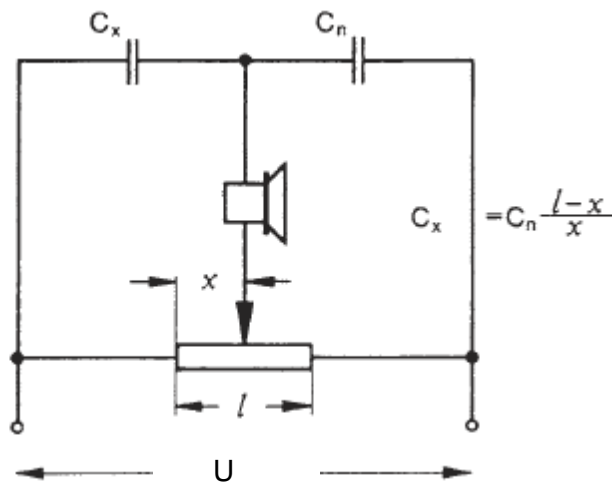
$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{L_3}{L_4}. \quad (10)$$



3 pav. Induktyvumo matavimo schema.

Tam, kad pilnai išpildyti būtinas sąlygas, grandinėje įjungtas potenciometras P_1 , kurio šliaužiklį reikia nustatyti apie vidurį. Tokiu atveju aktyvinės varžos R_3 ir R_4 grandinės dalyse, kuriose įjungtos ritės, bus lygios sumoms potenciometro dalių varžų ir ričių aktyvinių varžų, kurios yra palyginti mažos. (9) įstatę į (4) ir įvertinę tai, kad jos yra žymiai mažesnės už ričių induktyvines varžas, pagal 3 pav. pažymėjimus gauname:

$$L_x = L_n \frac{x}{l - x}. \quad (11)$$



4 pav. Elektrinės talpos matavimo schema.

Paveiksle 4 pavaizduotas Vitstono tiltelis su tiriamuoju ir etaloniniu kondensatoriais. Kondensatoriams $Z_3 = -\frac{i}{\omega C_3}$ ir $Z_4 = -\frac{i}{\omega C_4}$. Todėl sąlyga (5) yra patenkinta, kai

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{C_4}{C_3}. \quad (12)$$

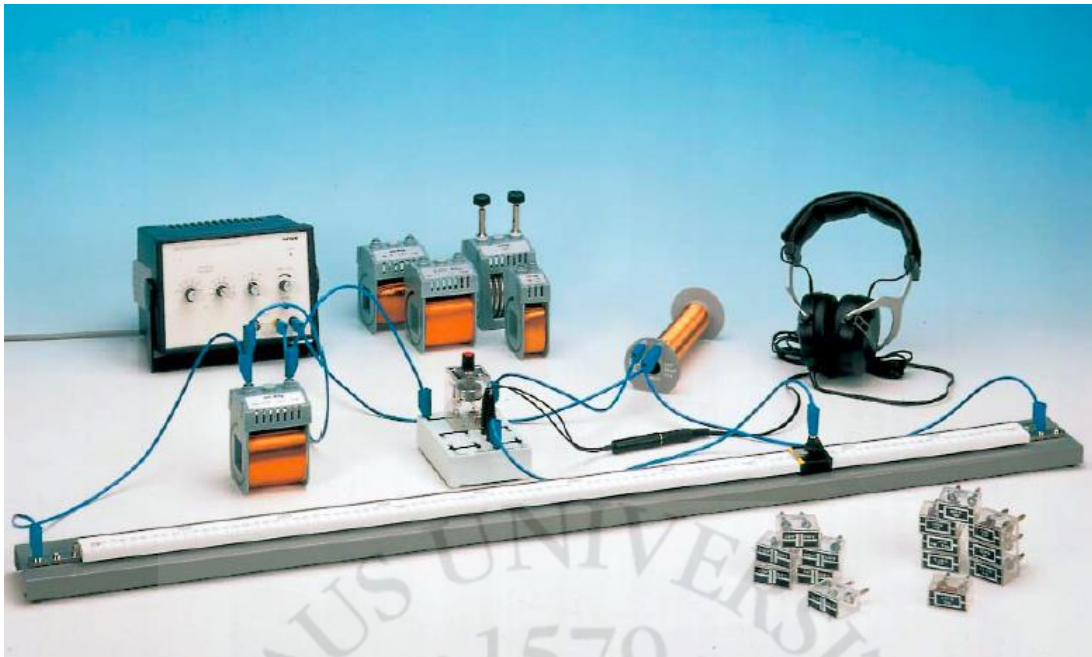
Tada ieškoma elektrinė talpa pagal 4 pav. pažymėjimus:

$$C_x = C_n \frac{l-x}{x}. \quad (13)$$

Darbo eiga

Darbo priemonės yra parodytos 5 pav., o jų jungimo schemas pateiktos 2-4 pav. Garsinio generatoriaus dažnis nustatomas intervale, kuriame žmogaus klausos jautris yra didžiausias (500 Hz - 5 kHz). Vietoje 1 pav. parodyto ampermetro darbe yra naudojamos akustinės ausinės.

Aktyvinės varžos matavimui naudojamas 1 kΩ varžos etaloninis rezistorius. Stumdant reochordo slankųjį kontaktą tiltelis subalansuojamas taip, kad ausinėse nesigirdėtų generatoriaus generuojamo garsinio signalo. Po to išmatuojamas atstumas x nuo reochordo vielos pradžios jos įtvirtinimo vietoje iki slankiojo kontakto. Reikia išmatuoti ir vielos ilgį l – atstumą tarp jos įtvirtinimo vietų, kuris yra keliais milimetrais didesnis nei 1 m. Tiriamojo rezistoriaus varžą apskaičiuojame pagal (8) formulę. Taip tiriamoje ne mažiau kaip du rezistorius.



5 pav. Laboratoriniai reikmenys.

Ričių induktyvumo matavimui pagal 3 pav. pateiktą schemą naudojama 15 mH induktyvumo etaloninė ritė ir $240\ \Omega$ varžos potenciometras. Subalansavus tiltelį, išmatuojamas atstumas x , ir tiriamos ritės induktyvumas apskaičiuojamas pagal (11) formulę. Taip tiriamoje ne mažiau kaip dvi ritės.

Kondensatoriaus elektrinės talpos matavimui pagal 4 pav. pateiktą schemą naudojamas 10 nF talpos etaloninis kondensatorius. Subalansavus tiltelį, išmatuojamas atstumas x , ir tiriamojo kondensatoriaus elektrinė talpa apskaičiuojama pagal (13) formulę. Taip tiriamoje ne mažiau kaip du kondensatorius.

Matavimo paklaidų įvertinimas

Tiriamų dydžių paklaidas lemia etaloninių dydžių bei atstumų x ir l matavimo paklaidos Δx ir Δl . Pavyzdžiui, kondensatoriaus elektrinės talpos, randamos pagal (13) formulę, paklaida

$$\Delta C_x = C_x \sqrt{\left(\frac{\Delta C_n}{C_n}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2}. \quad (14)$$

Literatūra

1. A. Medeišis, „Mechanika, molekulinė fizika, elektra ir magnetizmas. Fizikos praktikumas“, Vilnius, *Vilniaus universiteto leidykla*, 2000, 353 p.
2. A. Matvejevas, „Mechanika ir reliatyvumo teorija“, Vilnius, *Mokslas*, 1982, 334 p.