



2004-2006 m. Bendrojo programavimo dokumento 2 prioriteto „Žmogiškųjų išteklių plėtra“ 4 priemonė „Mokymosi visą gyvenimą sąlygų plėtra“

Projekto sutarties numeris: **ESF/2004/2.4.0-K01-160/SUT-261**

Projekto pavadinimas: **Inovatyvūs mokymosi metodai ir naujausios technologijos gamtos mokslų bakalauro rengimui**

FIZ 211 ELEKTRA IR MAGNETIZMAS

Laboratorinis darbas

KINTAMOS SROVĖS GRANDINIŲ TYRIMAS

DARBO TIKSLAS:

Susipažinti su kintamos srovės tekėjimo dėsningumais nuosekliai sujungtų varžos ir kondensatoriaus, varžos ir ritės grandinėse.

DARBO UŽDUOTYS:

1. Ištirti kintamos srovės amplitudės ir fazės skirtumo tarp srovės ir įtampos priklausomybes nuo kintamos įtampos dažnio nuosekliai sujungtų varžos ir kondensatoriaus (RC) grandinėje.
2. Ištirti kintamos srovės amplitudės ir fazės skirtumo tarp srovės ir įtampos priklausomybes nuo kintamos įtampos dažnio nuosekliai sujungtų varžos ir ritės (RL) grandinėje.

TEORIJA:

Kintamoji srovė ir įtampa.

Kintamoji elektros srovė vadinama tokia srovė, kurios stipris ir tekėjimo kryptis periodiškai kinta laikui bėgant. Dažniausiai naudojama kintamoji srovė, kurios stiprio kitimas aprašomas harmoninėmis sin arba cos funkcijomis:

$$I = I_0 \sin(\omega t), \quad (1)$$

čia srovės kitimo ciklinis dažnis:

$$\omega = 2\pi\nu = 2\pi/T, \quad (2)$$

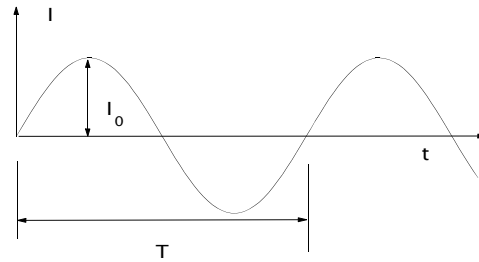
ν - [Hz], T - srovės kitimo periodas. Tokios srovės stiprio I kitimo laike grafikas bus sinusoidė (1 pav.) Šiame grafike I reiškia momentinę srovės stiprio vertę, o I_0 - jos amplitudę. Kintamos srovės

stiprio ženklų pasikeitimas reiškia srovės tekėjimo krypties pasikeitimą. Taigi srovė pirmą periodo pusę teka grandine viena kryptimi, o antrą - priešinga kryptimi. Kintamoji srovė atsiranda, kai į elektros grandinę įjungiamas srovės šaltinis, kurio įtampa kinta harmoniniu dėsniu:

$$U = U_0 \sin(\omega t)$$

čia U_0 - kintamos įtampos amplitudė. Jei kintamą įtampą prijungti prie varžos R , tai varža tekės srovė, kurios stipris

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_0}{R} \sin(\omega t) = I_0 \sin(\omega t). \quad (4)$$



Pav.1

Varža tekančios srovės stiprio kitimo laike grafikas toks pat kaip 1 pav., jos amplitudė $I_0 = U_0/R$.

Iš grafiko matyti, kad vidutinė per periodą srovės stiprio vertė lygi nuliui. Kiekvienu laiko momentu varžoje šilumos pavidalu išsiskirianti elektrinė galia

$$P = I^2 R = I_0^2 \sin^2(\omega t) R. \quad (5)$$

Per periodą išsiskirianti vidutinė galia

$$\langle P \rangle_T = I_0^2 \langle \sin^2(\omega t) \rangle_T R = \frac{1}{2} I_0^2 R = \frac{1}{2} \frac{U_0^2}{R}, \quad (6)$$

nes vidurkis per periodą $\langle \sin^2(\omega t) \rangle_T = 1/2$. Išraiška (6) dažniausiai užrašoma tokiu pat pavidalu kaip nuolatinei srovei:

$$\langle P \rangle_T = I_{ef}^2 R = U_{ef}^2 / R, \quad (7)$$

čia dydžiai

$$I_{ef} = \sqrt{\langle I^2 \rangle_T} = I_0 / \sqrt{2} \quad \text{ir} \quad U_{ef} = \sqrt{\langle U^2 \rangle_T} = U_0 / \sqrt{2} \quad (8)$$

vadinami atitinkamai efektiniu srovės stipriu ir efektine įtampa.

Iš (7) lygybės išplaukia, kad varžoje išsiskirianti vidutinė galia lygi galiai, kuri išsiskirtų toje varžoje per ją tekant nuolatinei srovei, kurios stipris lygus I_{ef} . Efektines įtampos ir srovės vertes rodo kintamos srovės voltmetrai ir ampermetrai. Jos patogios naudoti, kai svarbu žinoti kintamos srovės grandinės aktyvinėje varžoje išsiskiriančią galią.

Kintamoji srovės RR, RC, ir RL grandinėse bei RCL grandinėje.

Pirmiausiai išsiaiškinsime kokio stiprio srovė teka paprasčiausiose grandinėse, kurias sudaro arba tik varža, arba tik kondensatorius arba tik ritė, kai prie grandinės prijungta kintama įtampa. Nustatysime koks yra fazių skirtumas tarp srovės ir įtampos tokiose grandinėse, nes kintamos srovės ir įtampos fazės gali skirtis, t.y.

$$I = I_0 \sin(\omega t + \varphi) \quad (9)$$

čia φ srovės ir įtampos fazių skirtumas. Toliau laikysime, kad srovė grandinėje kvazinuostovioji, t.y. jos kitimo periodas T yra daug didesnis už laiką, reikalingą elektriniam signalui perbėgti visą grandinę šviesos greičiu. Jei srovė kvazinuostovioji, tai ji visuose grandinės taškuose kinta tą pačią fazę.

Kai grandę sudaro prie kintamos įtampos šaltinio prijungta tik varža R (2 pav.), grandinė tekančios srovės stiprio kitimas aprašomas (4) formule. Iš jos išplaukia, kad srovės stiprio amplitudė $I_0=U_0/R$, o fazės skirtumas tarp srovės ir įtampos $\varphi=0$, t.y. srovės stipris ir šaltinio įtampa kinta viena fazė (3 pav.).

Kai grandę sudaro prie kintamos įtampos šaltinio prijungtas kondensatorius C (4 pav.), įtampa kondensatoriaus plokštelėse $U_C=Q/C$ (čia Q kondensatoriaus krūvis, C jo talpa) lygi šaltinio įtampai:

$$U_C = Q/C = U_0 \sin(\omega t) \quad (10)$$

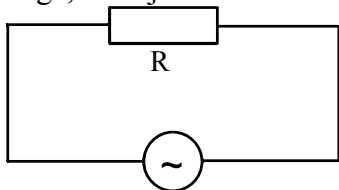
Kadangi grandinė tekančios srovės stipris lygus krūviui atitekančiam į kondensatorių per laiko vienetą, $I=dQ/dt$, tai išreiškę iš (10) lygties Q ir apskaičiavę jo išvestinę laiko atžvilgiu, turime tokią išraišką srovės stipriui grandinėje:

$$I = \frac{dQ}{dt} = \omega C U_0 \cos(\omega t) = I_0 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right). \quad (11)$$

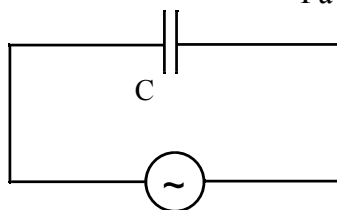
Iš (11) išraiškos matyti, kad grandinėje tik su kondensatoriumi kintamos srovės stiprio amplitudė

$$I_0 = \frac{U_0}{1/\omega C} = \frac{U_0}{Z_C}, \quad (12)$$

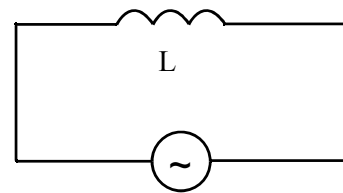
čia $Z_C=1/\omega C$ vadinama talpinė varža, o fazės skirtumas tarp srovės ir įtampos yra $\pi/2$, bei srovė ketvirčiu periodo aplenkia įtampą (5 pav.). Augant kintamos įtampos dažniui ω , srovės stipris grandinėje auga, mažėjant dažniui - mažėja.



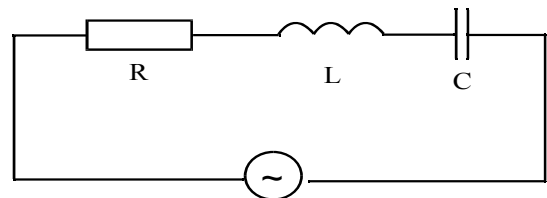
Pav.2



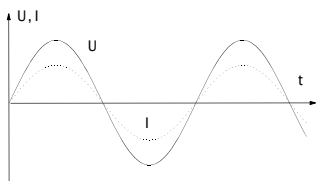
Pav.4



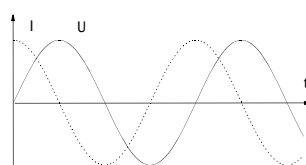
Pav.6



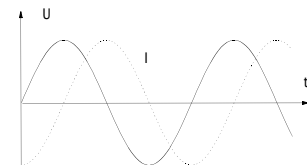
Pav.8



Pav.3



Pav.5



Pav.7

Grandinėje sudarytoje tik iš ritės (6 pav.) rite tekant kintamai srovei, joje indukuojasi saviindukcijos elektrovara $U_L = -L(dI/dt)$, čia L - ritės induktyvumas, kuri palaiko srovę grandinėje jai silpnėjant ir priešinasi srovės augimui jai didėjant. Kiekvienu laiko momentu grandinėje (6 pav.) šaltinio elektrovara ir saviindukcijos elektrova kompensuoja viena kitą, todėl.

$$U - L \frac{dI}{dt} = 0 \quad (13)$$

Arba

$$L \frac{dI}{dt} = U_0 \sin(\omega t) . \quad (14)$$

Suintegravę lygtį (14) turime, kad srovės stipris grandinėje kiekvienu laiko momentu

$$I = -\frac{U_0}{\omega L} \cos(\omega t) = I_0 \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right). \quad (15)$$

Iš (15) išraiškos išplaukia, kad grandinėje su rite srovės stiprio amplitudė

$$I_0 = \frac{U_0}{\omega L} = \frac{U_0}{Z_L} \quad (16)$$

čia $Z_L = \omega L$ vadinama induktyvinė varža, o fazės skirtumas tarp srovės ir įtampos $\varphi = -\pi/2$, t.y. srovė nuo įtampos atsilieka ketvirčiu periodo (7 pav.). Šaltinio įtampos dažniui augant srovės stipris grandinėje mažėja, dažniui mažėjant - srovės stipris didėja.

Toliau aptarsime, koks yra srovės stipris ir jos fazė grandinėje, sudarytoje iš nuosekliai sujungtų varžos, kondensatoriaus ir ritės (8 pav.). Tokioje grandinėje kiekvienu laiko momentu įtampų kritimų varžoje, kondensatoriuje ir ritėje suma lygi šaltinio įtampai:

$$U_R + U_C + U_L = U , \quad (17)$$

čia

$$U_R = IR, \quad U_C = \frac{Q}{C} = \frac{1}{C} \int Idt, \quad U_L = L \frac{dI}{dt} \quad (18)$$

Todėl gauname tokią diferencialinę lygtį srovės stipriui RLC grandinėje:

$$L \frac{dI}{dt} + \frac{1}{C} \int Idt + RI = U_0 \sin(\omega t) \quad (20)$$

Šios lygties sprendinys

$$I = I_0 \sin(\omega t - \varphi) \quad (21)$$

Įstatę šį sprendinį į (20), gauname lygtį srovės stiprio amplitudei ir fazei:

$$L\omega I_0 \cos(\omega t - \varphi) - \frac{1}{\omega C} I_0 \cos(\omega t - \varphi) + R I_0 \sin(\omega t - \varphi) = U_0 \sin(\omega t) \quad (22)$$

Kadangi ši lygybė turi būti tenkinama kiekvienu laiko momentu t , tai, kai $t = 0$ iš (22) gauname lygtį srovės stiprio fazei:

$$L\omega \cos \varphi - \frac{1}{\omega C} \cos \varphi + R \sin \varphi = 0. \quad (23)$$

Iš šios lygties gauname

$$\operatorname{tg} \varphi = \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) / R. \quad (24)$$

Matyti, kad RLC grandinėje fazė gali būti ir neigiama ir teigiama intervale nuo $-\pi/2$ iki $\pi/2$. Laiko momentui $\omega t = \pi/2$, iš (22) gauname lygtį srovės stiprio amplitudei

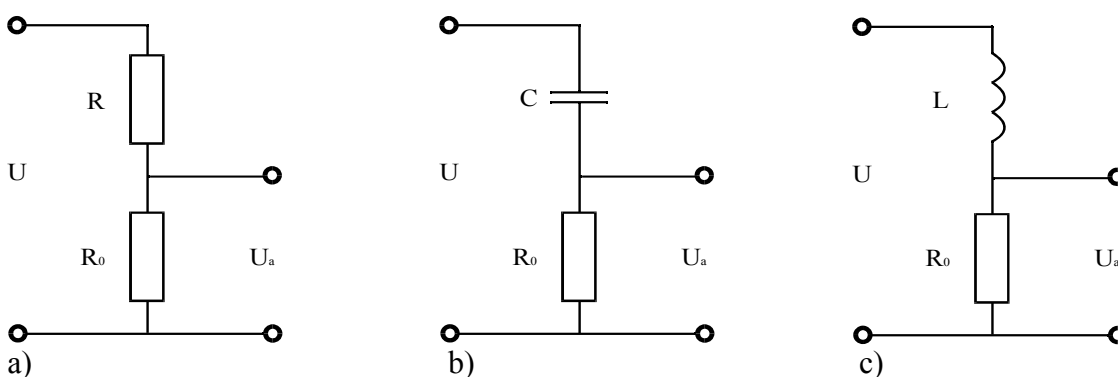
$$I_0 \left(\omega L \sin \varphi - \frac{1}{\omega C} \sin \varphi + R \cos \varphi \right) = U_0, \quad (25)$$

iš kurios išplaukia, kad RLC grandinėje tekančios srovės stiprio amplitudė

$$I_0 = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}}. \quad (26)$$

TYRIMO METODAS:

Šiame darbe tiriamos srovės stiprio ir srovės bei šaltinio įtampos fazių skirtumo priklausomybės nuo kintamos įtampos dažnio dviems pav.9 b ir c parodytoms grandinėms.



Pav.9

Matavimams atlikti naudojamas kompiuteris su *Science Workshop*[®] 750 sąsajos įtaisu. Grandinėms surinkti naudojama speciali plokštė su spyrukliniais kontaktais grandinės elementams sujungti ir gnybtais įtampos šaltiniui ir įtampos matavimui apkrovos varžoje prijungti. Srovės stipris grandinėje apskaičiuojamas išmatavus įtampos kritimą U_a apkrovos varžoje R_a , pritaikius Ohmo dėsnį.

Fazių skirtumas φ tarp srovės ir šaltinio įtampos randamas registruojant vienu metu oscilografo lange šaltinio įtampą ir įtampą apkrovos varžoje. Jei tarp srovės ir šaltinio įtampos yra fazių skirtumas, tai oscilografo lange matomos dvi sinusoidės, kurių minimumai ir maksimumai nesutampa (11 pav.).

Išmatavę įtampos generatoriaus signalo periodą T ir laikinį poslinkį tarp signalų Δt , fazės skirtumą laipsniais apskaičiuojame pagal tokią formulę:

$$\varphi = \frac{\Delta t}{T} \cdot 360 \quad (27)$$

Srovės stiprį ir fazių skirtumą tarp įtampos ir srovės RC ir RL grandinėse galima teoriškai apskaičiuoti pagal tokias formules:

RC grandinei

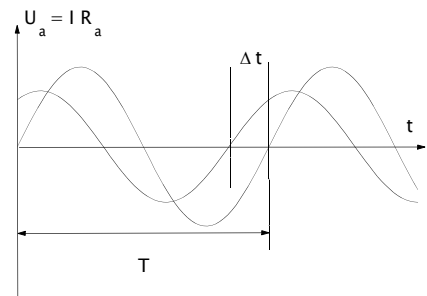
$$I_0 = U_0 / \sqrt{R_a^2 + 1/(\omega C)^2}, \quad (28a)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = -1/(R_a \omega C), \quad (28b)$$

RL grandinei ($Z_C=0$)

$$I_0 = U_0 / \sqrt{R_a^2 + (\omega L)^2}, \quad (29a)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \omega L / R_a, \quad (29b)$$



Pav.10 Fazių poslinkio matavimas.

DARBO PRIEMONĖS:

1. Kompiuteris su *Science Workshop*[®] 750 sąsajos įtaisu, bei programa *Data Studio*.
2. Plokštė sus spyruokliniais kontaktais.
3. Tiriamų grandinių elementai: apkrovos varža, varža, kondensatorius, ritė.

DARBO EIGA:

Kompiuterio ir sąsajos įtaiso parengimas:



1. Prijunkite *Science Workshop*[®] 750 sąsajos įtaisą (11 Pav.) prie kompiuterio, įjunkite sąsajos įtaisą ir kompiuterį.
2. Prijunkite įtampos daviklį prie analoginio kanalo A (Analog Channel A).
3. Prijunkite maitinimo laidus prie išėjimo kanalo (Output).

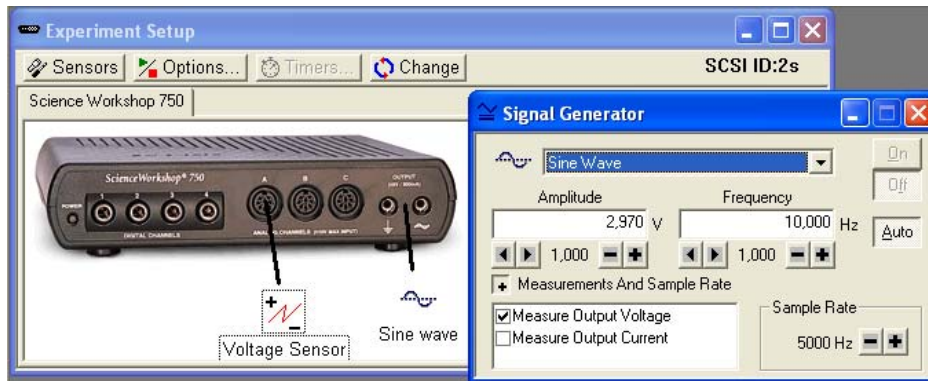


11 Pav. *Science Workshop*[®] 750 sąsajos įtaisas

4. Kompiuteryje paleiskite programą *Data Studio*, nueikite į katalogą „C:/Data Studio/RR“ ir atsidarykite dokumentą:

„RR.ds“

Jei atsidariusiame dokumente paspausite „Setup“ () mygtuką atsidarys eksperimento struktūros (experiment setup) langas (12 Pav.). Jame matote kokie davikliai turi būti prijungti. Jei du kart paspausite ant išvado paveiksluko () tai atsidarys signalų generatoriaus langas (Signal Generator).




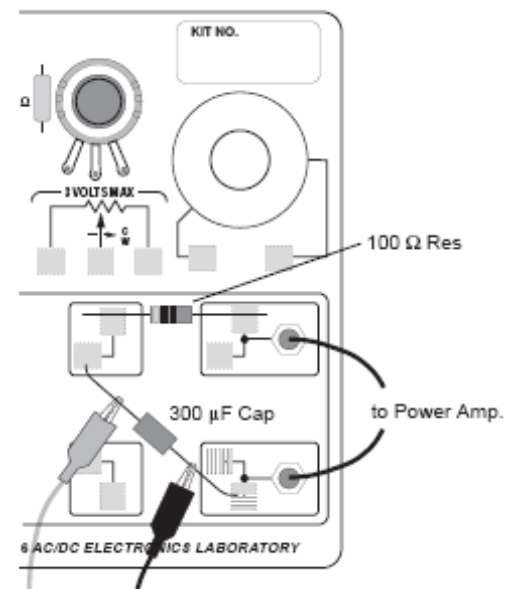
12 Pav. Eksperimento struktūros ir signalų generatoriaus langas

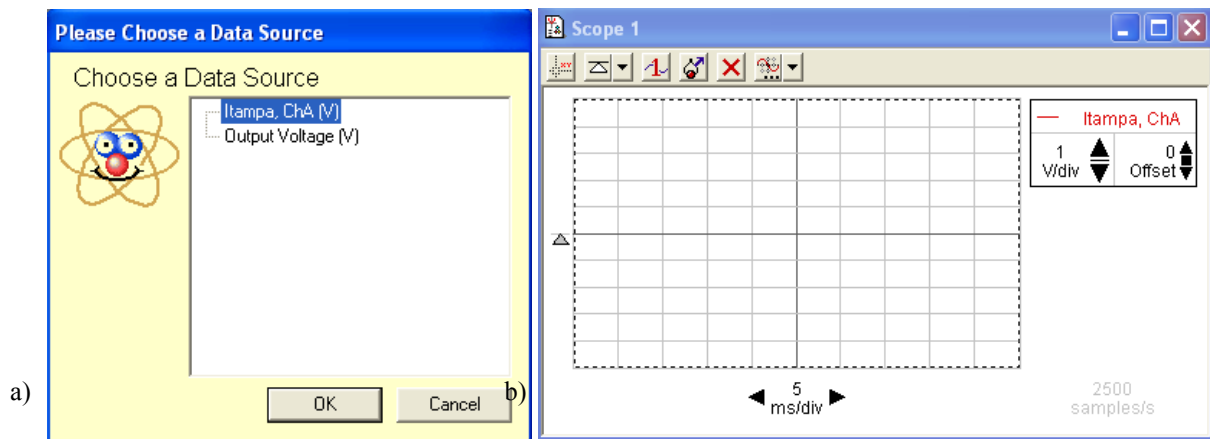
- Signalų generatoriaus lange nustatykite išėjimo įtampą 1,5V, dažnį 1 kHz ir sinuso formos (Sine Wave) srovės kitimą.

1. Užduotis:

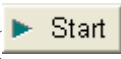
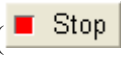
Elektrinės grandinės surinkimas, matavimai ir rezultatų apdorojimas

- Plokštėje su spyruokliniais kontaktais surinkite 13 pav. parodytą RC grandinę.
- Prijunkite maitinimo šaltinio laidus prie kištukinių lizdų (to Power Amp.).
- Prijunkite kanalo A žnyplės prie apkrovos varžos.
- „Displays“ lange du kart paspauskite ant oscilografo mygtuko ( Scope).
- Atsiradusiame vedlyje pasirinkite „Itampa, ChA (V)“ (14 Pav. (a)).
- Iš „Data“ lango pagriebkite „Output Voltage (V)“ ir nutempkite į atsidariusį langą taip, kad grafiko laukas būtų apibrėžtas punktyrine linija (14 Pav. (b)).



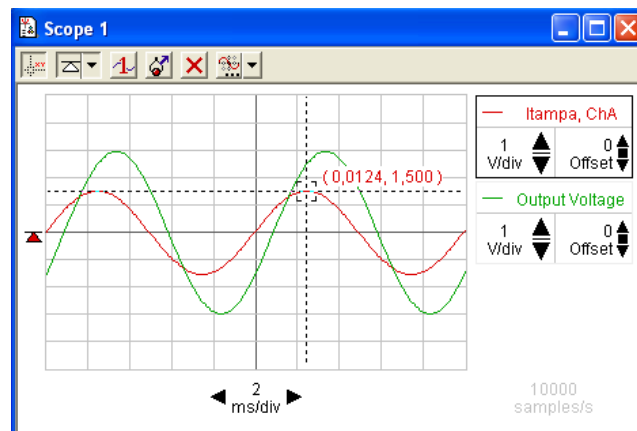


14 Pav. Oscilografo duomenų pasirinkimo langas (a) ir osciloskopo langas (b)

6. Pradėkite rinkti duomenis (*DataStudio* programoje paspauskite „Start“ mygtuką ()).
7. Užbaigę duomenų rinkimą paspauskite „Stop“ mygtuką ().
8. „Scope 1” lange (15 Pav.) „gudraus kursoriaus“ pagalba išmatuokite įtampų U ir U_A amplitudę bei periodą T . Išmatuokite poslinkį τ tarp maksimalių U ir U_A verčių. Šiuo atveju fazių skirtumas:

$$\varphi_1 = \frac{\tau}{T} \cdot 360^\circ .$$

9. Matavimus pakartokite didindami dažnį, iki kol poslinkis nustos pastebimai kisti.



15 Pav. Oscilografuose U_R ir U_{in} priklausomybės nuo laiko.

10. Matavimo ir skaičiavimo duomenis surašykite į lentelę.

ν, kHz	U, V	U_A, V	T, s	τ, s	$\varphi, ^\circ$	$\varphi_t, ^\circ$	I	I_t

11. Lentelėje surašytoms įtampų vertėms U_A apskaičiuokite apkrovos varžoje, o kartu ir kontūre tekančios srovės amplitudę $I = U_A / R$.

12. Apskaičiuokite teorines srovės stiprio ir fazių skirtumo vertes pagal (28a) ir (28b) formules, ir skaičiavimų rezultatus surašykite į lentelę.
13. Viename paveikslėlyje nubrėžkite kreivių $I(v)$ ir $I_t(v)$, kitame $\varphi(v)$ ir $\varphi_t(v)$ grafikus.
14. Pakartokite šios užduoties 1-13 punktus, RL grandinei, kai apkrovos varža 10Ω , o ritės induktyvumas 100mH .

KONTROLINIAI KLAUSIMAI:

1. Kokia elektros srovė vadinama kintamąja?
2. Efektinės srovės ir įtampos vertės.
3. Omo dėsnis kintamosios srovės grandinėms.
4. Džaulio Lenco dėsnis kintamos srovės grandinei.
5. Elektrinė talpa.
6. Saviindukcija, saviindukcijos elektrovara, induktyvumas.

LITERATŪRA:

1. A. Tamašauskas, J. Vosylius. Fizika 2d, Vilnius, 1989m.
2. Halliday Resnick. Fundamentals of physics, v.2, 1989.
3. B.Martynėnas, J.Kaulakys, J.Jakimavičius. Fizikos pagrindai, Vilnius, 2000.
4. A. Tamašauskas, S.Joneliūnas Fizikos laboratoriniai darbai, Kaunas, 2002.