

---

**Antra dalis**

# **PRAKTINIAI DARBAI**

# Ivadas

Praktiniai darbai padeda studentams geriau suvokti studijuojamo dalyko teoriją, detaliau išanalizuoti tiriamus fizikinius reiškinius ir įgyti patirties, eksperimentuojant su elektronine aparatu.

Kiekvienas praktinis darbas susideda iš tokių etapų: pasirengimas darbui, darbo atlikimas, ataskaitos parengimas, rezultatų analizė ir darbo gynimas.

***Pasirengimas praktiniam darbui.*** Rengiantis atlikti praktinį darbą, pirmiausia reikia gerai susipažinti su jo aprašymu. Iš darbo aprašymo išsiaiškinti jo tikslą, užduotis, atlikimo eigą, aiškintis, ką rekomenduoja metodiniai nurodymai ir bandyti atsakyti į darbo aprašyme pateiktus kontrolinius klausimus. Jeigu atsakyti į klausimus arba išspręsti kontrolines užduotis nepakanka žinių, studijuojamos atitinkamos temos iš teorinės dalies.

Prieš leisdamas studentui atlikti praktinį darbą, dėstytojas patikrina jo žinias. Jeigu paaiškėja, kad studentas nesuvokia darbo tikslo, užduoties, negali atsakyti į kontrolinius klausimus ir paaiškinti, kokie laukiami darbo rezultatai bei nėra paruošęs formulių reikalingų darbo rezultatų skaičiavimams, tuomet jam darbo neleidžiama atlikti. Studentas turi geriau pasirengti ir darbą galės atlikti kitu laiku.

***Praktinis darbas.*** Atliekant praktinį darbą, reikia vadovautis darbo aprašymu, metodiniais nurodymais ir dėstytojo nurodymais, griežtai laikytis laboratorijos vidaus tvarkos taisyklių ir saugaus darbo reikalavimų. Su šiomis taisyklėmis dėstytojas studentus supažindina įvadinio užsiėmimo metu ir studentai pasirašo praktinių darbų apskaitos žurnale, jog su jomis susipažino.

## Ivadas

---

Visi praktinio darbo užduoties punktai atliekami paeiliui. Kruopščiai išmatuojami ir apskaičiuojami reikiami dydžiai ir rezultatai surašomi į rezultatams surašyti skirtą lapą. Juose nurodoma, koks užduoties punktas yra vykdomas, kokios buvo eksperimento sąlygos ir kokiomis matavimo priemonėmis buvo naudotasi. Visi studentai privalo atsinešti elektroninius skaičiuoklius. Kad darbas vyktų sparčiau, kartu dirbantys studentai turėtų pasiskirstyti pareigomis: vienas reguliuoti prietaisus, antras užrašinėti prietaisų rodmenis, trečias braižyti schemas. Atliekant kitą praktinio darbo užduoties dalį, pareigomis patartina pasikeisti.

Tiriamų priklausomybių grafikams nubrėžti reikia pasirinkti pakankamą eksperimentinių taškų skaičių. Prieš pradėdant matuoti tiriamą priklausomybę, reikia užduotyje nurodytose ribose pakeisti argumentą ir patikrinti, kokios yra funkcijos kitimo ribos. Pagal tai pasirenkamas argumento keitimo žingsnis. Pavyzdžiui, jeigu tam tikrame argumento keitimo intervale funkcija sparčiai kinta, tai tame intervale reikia imti mažesnę argumento keitimo žingsnį.

Atlikus visus praktinio darbo matavimus ir reikiamus skaičiavimus, rezultatai išanalizuojami, lyginami su laukiamais ir pateikiami dėstytojui. Jeigu dėstytojas pritaria darbo rezultatams ir pasirašo užpildytą rezultatams surašyti skirtą lapą, tai praktinio darbo dalis laboratorijoje yra baigta. Tada reikia išjungti matavimo prietaisus, sutvarkyti darbo vietą ir galima išeiti iš laboratorijos.

***Praktinio darbo ataskaitą*** rengia kiekvienas studentas. Ji turi būti pateikta dėstytojui ne vėliau kaip iki kito praktinio darbo pradžios. Nepateikusiems ataskaitų studentams neleidžiama dirbti kito praktinio darbo.

Ataskaita kompiuteriu kruopščiai ir įskaitomai taisyklinga lietuvių kalba surašoma vienoje A4 formato popieriaus lapo pusėje. Rekomenduojamas šrifto aukštis – 11 pt ir viengubas tarpas tarp gretimų eilučių.

Grafikai ir virpesių oscilogramos nubraižomi kompiuteriu ir įterpiami į ataskaitos tekstą. Skirtingos grafiko kreivės gali būti nuspalvintos įvairiomis spalvomis arba turi būti naudojamos skirtingo pavidalo linijos. Gali būti pateikiama atitinkamai apiforminta grafinė medžiaga sukurta naudojamosis darbe kompiuterinėmis programomis.

Ataskaitos lapo kairėje pusėje paliekama 20 mm paraštė, dešinėje–20 mm, o viršuje ir apačioje–po 25 mm. Rėmelio braižyti nereikia. Visi praktinio darbo ataskaitos lapai, išskyrus pirmąjį – antraštinį, yra numeruojami arabiškais skaitmenimis eilės tvarka. Skaitmenys rašomi ataskaitos lapo apatiniame dešiniajame kampe.

Ataskaitoje pateikiami paveikslai, lentelės ir skaičiavimų formulės yra numeruojamos to darbo ataskaitos eilės tvarka.

Kiekvieno praktinio darbo ataskaitos antraštiniame puslapyje (1 pav.) viršuje užrašomas laboratorijos pavadinimas. Žemiau – praktinio darbo numeris ir jo pavadinimas. Surašomos darbą atlikusių studentų pavardės, grupės šifras, darbo atlikimo data. Nurodoma ataskaitą pateikusio studento pavardė ir dėstytojo, kuris tikrins tą darbą, pareigos ir pavardė.

Be užduotyje specialiai aptartų rezultatų, kiekvieno praktinio darbo ataskaitoje privaloma aptarti darbo tikslą, parašyti kokie prietaisai buvo naudojami tam tikram eksperimentui atlikti.

..... laboratorija

1 darbas

SUSIPAŽINIMAS SU LABORATORIJOS  
MATAVIMO PRIETAISAIŠ IR DARBŲ  
ATLIKIMO TVARKA

Darbą atliko MEFS 0/1 gr. stud.:  
J. Jonaitis  
P. Petraitis  
A. Aleksaitė  
200... m. rugsėjo 22 d.  
Ataskaita J. Jonaičio

Tikrino doc. A. Antanaitis

1 pav. Praktinio darbo ataskaitos antraštinio puslapio pavyzdys

## Ivadas

Ataskaitose matavimų ir skaičiavimų rezultatai surašomi į lenteles. Reikia nurodyti lentelės numerį, jos pavadinimą bei joje pateikiamų dydžių matavimo vienetus. Lentelės pavyzdys pateikiamas žemiau.

1 lentelė. Generatoriaus FG-100 virpesių amplitudės dažninė charakteristika

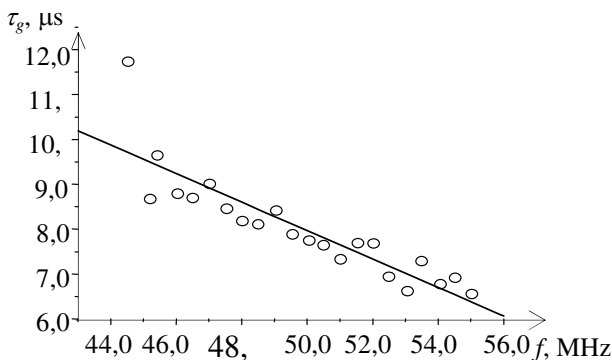
| f, kHz | 4   | 6   | 8   | 10  | 12  | 14  | 16  | 18  | 20  | 22  | 24  | 26  | 28  |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| U, V   | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,5 | 1,3 | 1,2 |

Braižant priklausomybių grafikus, reikia pasirinkti tinkamą brėžinio formatą, kad būtų užpildytas lapo plotas ir, esant reikalui, būtų galima tais grafikais pasinaudoti, atliekant kitus apskaičiavimus. Mastelis imamas toks, kad pasirinktam argumento ir funkcijos matavimo vienetui (pvz., V, mA, kHz, dB, % ir t.t.) tektų tokie sveikieji milimetrų skaičiai: 1, 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100. Nerekomenduojami tokie skaičiai: 3, 7, 9, 11, 12, 13, 15, 17, 18, 19, 21, 23, 24. Ties koordinatinių ašimis atidedamos ne matavimų metu gautų rezultatų skaitinės vertės, o matavimų vienetus rodantys skaičiai. Jie išdėstomi ne tankiau kaip kas 10 mm ir ne rečiau kaip kas 50 mm. Gauti eksperimentų rezultatai grafike pažymimi taškais, bet jie nejungiami tiesiomis linijomis, o per juos išvedama tolydi vidurkio linija, vaizduojanti tiriamą priklausomybę. Dažnai šios linijos pobūdis parenkamas atsižvelgiant į tai, kokia yra teorinė tiriamoji priklausomybė. Esant didelei eksperimentinių taškų sklaidai, eksperimentus reikia pakartoti. Jeigu tiriamos kelios vieno pobūdžio priklausomybės, tai jos braižomos viename grafike, ir nurodoma, koks yra kiekvienos iš jų parametras. Ties koordinatinių ašimis pažymimi argumento ir funkcijos simboliai ir nurodomi jų matavimo vienetai. Brėžiniai vadinami paveikslais ir jie iš eilės numeruojami kiekvieno praktinio darbo ataskaitoje. Kiekvienas paveikslas privalo turėti pavadinimą. Grafiko pavyzdys parodytas 2 paveiksle.

Apskaičiavimams naudotas formules reikia paaiškinti, pavyzdžiui:

$$Q = \frac{T}{\tau_i}, \quad (1)$$

čia  $Q$  – periodinės impulsų sekos retis;  
 $T$  – impulsų pasikartojimo periodas, s;  
 $\tau_i$  – impulsų trukmė, s.



2 pav. Filtro grupinio vėlinimo laiko dažninė charakteristika

Po to į formulę surašomos visų dydžių skaitinės vertės SI sistemos pagrindiniais vienetais (patys vienetai nerašomi) ir užrašomas skaičiavimo rezultatas bei jo matavimo vienetas. (Tarp skaičiavimo rezultato skaitinės vertės ir matavimo vieneto paliekamas tarpelis). Skaičiavimų rezultatai pateikiami tokio paties tikslumo, koks yra naudotų dydžių tikslumas, pavyzdžiui:

$$Q = \frac{10^{-3}}{500 \cdot 10^{-6}} = 2,00$$

Jeigu ta pati formulė skaičiavimams naudojama daugelį kartų, tai pateikiamas tik vieno skaičiavimo pavyzdys ir paaiškinama, kad kiti skaičiavimai atlikti analogiškai, o jų rezultatai surašyti į lentelę (nurodomas lentelės numeris ir pavadinimas).

**Praktiniai darbai ginami** žodžiu arba raštu dėstytojo nurodytu laiku. Gindamas praktinį darbą, studentas privalo turėti darbo ataskaitą, žinoti darbo tikslą, tyrimų eigą, tiriamų reiškinių teorinius pagrindus ir fizikinę prasmę, mokėti atsakyti į kontrolinius praktinio darbo klausimus ir paaiškinti gautus rezultatus. Kiekvienas praktinis darbas, jo ataskaita ir gynimas įvertinami vienu bendru pažymiu.

## **Ivadas**

Visų darbų pažymių vidurkis yra galutinis disciplinos praktinių darbų įvertinimas.

Semestro pabaigoje studentas visas atskirų darbų ataskaitas susega į aplanką, pasirašo ir pateikia dėstytojui. Aplanko viršelio pavyzdys pateiktas 3 paveiksle.

Ataskaitų aplanko viršelio pavyzdyje studijų dalyko pavadinimas yra „Matavimai ir metrologijos pagrindai“, tačiau tai gali būti ir kitas studijų dalykas, kurių praktinių darbų ataskaitos yra pateikiamos.

|                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>VILNIAUS KOLEGIJA</p> <p>_____ katedra</p> <p><b>MATAVIMŲ IR METROLOGIJOS<br/>PAGRINDŲ<br/>PRAKTINIŲ DARBŲ ATASKAITOS</b></p> <p>Atliko MEF 0/1 gr. stud. J. JONAITIS<br/>Dėstytojas doc. A. ANTANAITIS</p> <p>VILNIUS 200...</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

3 pav. Aplanko viršelio pavyzdys

## **Pirmas darbas**

# **Susipažinimas su laboratorijos matavimo prietaisais ir darbų atlikimo tvarka**

### **Darbo tikslas**

Susipažinti su laboratorijos darbų atlikimo tvarka, darbų atlikimo kalendoriniu grafiku ir naudojamais matavimo prietaisais.

### **Darbo užduotys**

1. Išanalizuoti įvade aprašytą praktinių darbų atlikimo tvarką ir bendruosius reikalavimus jų ataskaitoms. Išsiaiškinti koku kalendoriniu grafiku bus atliekami praktiniai darbai.

2. Išsiaiškinti naudojamų matavimo generatorių pagrindinius parametrus ir jų valdymo elementų paskirtį.

3. Išsiaiškinti naudojamų analoginių kintamosios įtampos elektroninių voltmetrų pagrindinius parametrus ir jų valdymo elementų paskirtį.

4. Išsiaiškinti naudojamų skaitmeninių elektroninių voltmetrų pagrindinius parametrus ir jų valdymo elementų paskirtį.

5. Išsiaiškinti naudojamo elektroninio oscilografo pagrindinius parametrus ir jo valdymo elementų paskirtį.

### ***Metodiniai nurodymai***

Su laboratorijos vidaus tvarkos taisyklėmis, darbų atlikimo tvarka ir kalendoriniu grafiku bei matavimo priemonių pagrindiniais parametrais supažindina dėstytojas. Dėstytojas taip pat paaiškina ir matavimo prietaisų valdymo elementų paskirtį.

### **Ataskaitos turinys**

1. Darbo tikslas.
2. Darbe analizuotų matavimo prietaisų sąrašas su jų svarbiausių savybių aprašymu.

## **Antras darbas**

# **Matavimo generatoriaus tyrimas**

### **Darbo tikslas**

Susipažinti su matavimo generatoriaus struktūrine schema, pagrindinėmis metrologinėmis savybėmis ir patikrinti jo svarbiausius metrologinius parametrus.

### **Darbo uždutis**

1. Išnagrinėti pateikto matavimo generatoriaus struktūrinę elektrinę schemą ir nustatyti kokiais elementais ir kaip keičiami svarbiausi jo virpesių parametrai.

2. Išstudijuoti ir užrašyti svarbiausius generatoriaus metrologinius parametrus.

3 Patikrinti:

3.1 Generatoriaus virpesio dažnio nustatymo tikslumą.

3.2 Generatoriaus virpesio dažnio stabilumo parametrus.

3.3 Generatoriaus virpesio formos parametrus (harmoninių virpesių netiesinius iškreipymus arba moduluotųjų virpesių moduliacijos parametrus).

### **Metodiniai nurodymai**

Tikrinant generatoriaus parametrus, naudojami būdai aprašyti tiriamo generatoriaus aprašyme ir dėstytojo duotos matavimo priemonės su jų aprašymais.

Tikrinant generatoriaus *dažnio nustatymo tikslumą* naudojamas skaitmeninis dažniamatis. Juo ne mažiau kaip tris kartus išmatuojamas generatoriaus dažnis per 10 sekundžių matavimo laiką ir rezultatų aritmetinis vidurkis lyginamas su nustatytu generatoriaus skalėje dažniu. Pagal generatoriaus aprašymą tikrinama ar gautasis skirtumas neviršija leistinojo.

Tikrinant *generatoriaus dažnio stabilumą*, duotasis generatoriaus dažnis dažniamačiu matuojamas ne mažiau kaip 120 kartų. Kiekvienas matavimas atliekamas per 10–ties sekundžių

matavimo laiką. Iš gautosios rezultatų aibės (imties) nustatomi: *dažnių sklaidos intervalas* (imties plotis), *rezultatų aritmetinis vidurkis*, *vidutinis kvadratinis (standartinis) nuokrypis* nuo vidurkio ir empiriniai *asimetrijos bei eksceso koeficientai*. Braižoma dažnių skirstinio grafikas – *histograma*. Ieškomi statistiniai dydžiai randami pagal teorinės dalies 1 skyriuje pateiktas formules. *Normalumo hipotezė* tikrinama pagal asimetrijos ir eksceso koeficientus.

Apskaičiuojamos asimetrijos ir eksceso koeficientų standartinės paklaidos pagal tokias formules:

$$s_{AS} = \sqrt{6(n-1)/[(n+1)(n+3)]},$$

$$s_{EK} = \sqrt{24n(n-2)(n-3)/[(n-1)^2(n+3)(n+5)]}.$$

Jeigu asimetrijos arba eksceso koeficientas 2–3 kartus viršija apskaičiuotą jo standartinės paklaidos vertę, tai laikoma, kad jis yra reikšmingai nelygus nuliui ir atsitiktinių paklaidų skirstinys gali būti nenormalus ir reikėtų detalesnio tyrimo [1]. Priešingu atveju tokiai abejonei nėra pagrindo ir galima tikėtis, kad skirstinys yra normalusis.

Patvirtinus normalumo hipotezę, surandamas maksimalus dažnio nuokrypis ir lyginamas su leistiniu pagal generatoriaus aprašymą.

Matavimo rezultatų tvarkymui galima naudoti statistinių skaičiavimų programas.

### Ataskaitos turinys

1. Darbo tikslas.
2. Generatoriaus struktūrinė schema pagal užduoties 1p.
3. Generatoriaus svarbiausių metrologinių savybių aprašymas pagal užduoties 2p.
4. Tikrinimo rezultatai, lentelės ir grafikai pagal užduoties 3p.
5. Rezultatų aptarimas ir išvados.

### Kontroliniai klausimai ir užduotys

1. Kaip randamas imties plotis?
2. Kaip randamas rezultatų aritmetinis vidurkis ir standartinis nuokrypis nuo jo?
3. Kaip randami asimetrijos ir eksceso koeficientai?
4. Kaip braižoma skirstinio histograma?
5. Kaip tikrinamas tikimybių skirstinio normalumas?

## **Praktiniai darbai**

---

6. Kaip randamas maksimalus nuokrypis nuo vidurkio?
7. Kokia matavimo generatorių bendroji struktūrinė schema?
8. Kokie dažnių diapazonai sąlygiškai vadinami infražemojo dažnio, žemojo dažnio, aukštojo dažnio ir superaukštojo dažnio diapazonais?
9. Kokios būna žemojo dažnio generatorių valdančiųjų generatorių schemos?
10. Kaip sudaryta žemo dažnio interferencinių valdančiųjų generatorių schema?
  - 1 1. Kokios yra valdančiųjų RC generatorių schemos?
  - 1 2. Kaip reguliuojamas generatoriaus išėjimo įtampos lygis?
  - 1 3. Kokie svarbiausi žemo dažnio generatorių metrologiniai parametrai?
14. Kaip normuojamas žemo dažnio generatorių dažnio nestabilumas ir kaip jis matuojamas ?
15. Kaip matuojamas generatoriaus dažnio nustatymo tikslumas?
16. Ką vadiname generatoriaus harmoninio virpesio netiesiniais iškraipymais ir kaip jie matuojami?
17. Kokie būna aukšto dažnio matavimo generatorių valdantieji generatoriai?
18. Kokios moduliacijos rūšys naudojamos aukšto dažnio matavimo generatoriuose?
19. Kaip įvykdoma amplitudės moduliacija tiriamojo generatoriaus schemoje?
20. Kaip įvykdoma dažnio moduliacija tiriamojo generatoriaus schemoje?
21. Kokie aukštojo dažnio matavimo generatorių svarbiausieji metrologiniai parametrai?

## Trečias darbas

# Elektromechaninių rodyklių matavimo prietaisų tyrimas ir tikrinimas

### Darbo tikslas

Išsiaiškinti pagrindinių sistemų elektromechaninių rodyklių matavimo prietaisų sandarą, veikimo principą ir svarbiausias metrologines bei eksploatacines savybes.

Susipažinti su matavimo prietaisų pagrindinių ir papildomų paklaidų vertinimo būdais.

### Darbo užduotys

1. Susipažinti su magnetoelektrinės elektromagnetinės, elektrodinaminės ir elektrostatinės sistemų elektromechaninių rodyklių matavimo prietaisų sandara ir veikimo principu. Aprašyti prietaisų veikimo principus, iliustruojant matavimo lygtimis. Nurodyti kiekvienos sistemos svarbiausias metrologines ir eksploatacines savybes bei naudojimo sritis.

2. Išstudijuoti ir detaliai aprašyti pateiktus prietaisus, naudojantis jų skalių užrašais ir žinynais.

3. Išstudijuoti ir detaliai aprašyti pateiktą tikrinimui elektrodinaminės sistemos voltmetrą, naudojantis jo skalių užrašais ir žinynais.

4. Išstudijuoti pateiktą etaloninį voltmetrą arba etaloninį matą (voltmetrų kalibratorių) ir nustatyti ar jų paklaidos atitinka etalonams keliamus reikalavimus.

5. Nustatyti tikrinamo prietaiso pagrindinę paklaidą dėstytojo nurodytame skalės taške.

6. Nustatyti papildomą dažninę voltmetro paklaidą dėstytojo nurodytame skalės taške ir nurodytame dažnių ruože

## Praktiniai darbai

### *Metodiniai nurodymai*

#### *Pagrindinės paklaidos vertinimas*

Pirmiausia voltmetras apžiūrimas, ar jis neturi akivaizdžių gedimų. Po to prietaisas pastatomas į normalią padėtį ir apie 5 minutes šildomas maksimalia srove. Po to jo rodmenys duotame skalės taške ne mažiau kaip 30 kartų palyginami su etalono teikiamais rezultatais. Bandymų ir skaičiavimų rezultatai surašomi į 2 lentelę. Šios lentelės kai kurie duomenys bei ieškomi statistiniai dydžiai randami pagal teorinės dalies 1 skyriuje pateiktas formules.

2 lentelė. Voltmetro tikrinimo skalės taške  $X_0$  rezultatai

| Etaloninė įtampa, V | Paklaidos, V | Atsitiktinės paklaidos, V |
|---------------------|--------------|---------------------------|
| $A_1$               | $\Delta_1$   | $\xi_1$                   |
| $A_2$               | $\Delta_2$   | $\xi_2$                   |
| .....               | .....        | .....                     |
| $A_n$               | $\Delta_n$   | $\xi_n$                   |

Atsitiktinių paklaidų suma:

Iš 2 lentelės duomenų yra surandami tokie dydžiai: *sisteminioji paklaida, standartinė paklaida*.

Toliau reikia surasti *suminę ribinę paklaidą*. Tam pirmiausia palyginame sisteminę ir standartinę paklaidas ir, jeigu galima, pritaikome *paneigtinų paklaidų kriterijų*. Jeigu abi paklaidos komponentės yra nepaneigtinos, tai reikia patikrinti ar atsitiktinių paklaidų tikimybių skirstinys yra normalusis.

Tam apskaičiuojami asimetrijos ir eksceso koeficientai. Po to skaičiuojamos jų standartinės paklaidos pagal tokias formules:

$$s_{AS} = \sqrt{6(n-1)/[(n+1)(n+3)]},$$

$$s_{EK} = \sqrt{24n(n-2)(n-3)/[(n-1)^2(n+3)(n+5)]},$$

čia  $n$  yra bandymų skaičius.

Jeigu asimetrijos arba eksceso koeficientas 2–3 kartus viršija apskaičiuotą jo standartinės paklaidos vertę, tai laikoma, kad jis yra reikšmingai nelygus nuliui ir atsitiktinių paklaidų skirstinys gali būti *anormalus* ir reikėtų detalesnio tyrimo [1]. Priešingu atveju tokiai

abėjonei nėra pagrindo ir galima tikėtis, kad skirstinys yra *normalusis*.

Patvirtinus normalumo hipotezę, pritaikoma „trijų sigma“ taisyklė ir surandama atsitiktinės paklaidos ribinė vertė. Suminė ribinė paklaida surandama panaudojant tokią koreguotą paklaidų sumos formulę [1, 76 p]:

$$\Delta = 0,85(\Delta_c + 3s_n),$$

čia  $\Delta_c$  yra sisteminioji paklaida, o  $s_n$  – standartinė paklaida.

Pagal suminę ribinę paklaidą ir skalės ribą voltmetrui yra priskiriama tikslumo klasė ir ji palyginama su gamintojo nustatyta voltmetro tikslumo klase

#### *Papildomos dažninės voltmetro paklaidos tikrinimas*

Tikrinama pagal nurodytam dažnių ruožui tinkamą etaloną (etaloninį voltmetrą ar voltmetrų kalibratorių). Dažnių ruožą nurodo dėstytojas. Tiriamo voltmetro vardinis darbo dažnis yra surandamas jo aprašyme. Etalono teikiama įtampa privalo būti pastovi ir lygi  $A$ . Voltmetro rodmuo, esant vardiniam dažniui yra  $X_0$ . Matavimų rezultatai surašomi į 3 lentelę.

3 lentelė. Papildomos dažninės paklaidos matavimų  
ir skaičiavimų rezultatai

| Dažnis,<br>Hz | Tiriamo voltmetro<br>rodmenys, V | Dažninė paklaida, V       | Santykinė dažninė<br>paklaida, %                |
|---------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------|
| $f_1$         | $X_1$                            | $\Delta_{f1} = X_1 - X_0$ | $\delta_{f1} = \frac{\Delta_{f1}}{X_0} 100, \%$ |
| $f_2$         | $X_2$                            | $\Delta_{f2} = X_2 - X_0$ | $\delta_{f2} = \frac{\Delta_{f2}}{X_0} 100, \%$ |
| .....         | .....                            | .....                     | .....                                           |
| $f_v$         | $X_0$                            | 0                         | 0                                               |
| .....         | .....                            | .....                     | .....                                           |
| $f_N$         | $X_N$                            | $\Delta_{fN} = X_N - X_0$ | $\delta_{fN} = \frac{\Delta_{fN}}{X_0} 100, \%$ |

## **Praktiniai darbai**

---

Pagal 2 lentelės rezultatus braižoma papildomos santykinės paklaidos dažninė priklausomybė. Iš jos daroma išvada ar tiriamas prietaisas atitinka normas.

Jeigu dažnis skiriasi nuo vardinio ne daugiau kaip  $\pm 10\%$  tai prietaiso papildoma paklaida neturi viršyti paklaidos, atitinkančios jo tikslumo klasę. Jeigu prietaisui normuojama *vardinė dažnių sritis*, tai ką tik nurodyta sąlyga turi būti išpildyta šioje dažnių srityje. Jeigu prietaisai nustatyta *išplėsta dažnių sritis*, tai joje papildoma paklaida neturi viršyti pagrindinės prietaiso paklaidos.

### **Ataskaitos turinys**

1. Darbo tikslas.
2. Prietaisų sistemų aprašymai pagal užduoties 1p.
3. Pateiktų tyrimams prietaisų metrologinių savybių aprašymai pagal užduoties 2p.
4. Tiriamo elektrodinaminio voltmetro metrologinių savybių aprašymas pagal užduoties 3p.
5. Etalono metrologinių savybių aprašymas pagal užduoties 4p.
6. Pagrindinės paklaidos ir tikslumo klasės tyrimo rezultatai pagal užduoties 5p.
7. Papildomos paklaidos tyrimo rezultatai ir jos dažninės priklausomybės grafikas pagal užduoties 6p.
8. Darbo rezultatų aptarimas ir išvados.

### **Kontroliniai klausimai ir užduotys**

1. Ką vadiname elektromechaniniu rodykliniu matavimo prietaisu?
2. Kokias žinote elektromechaninių rodyklinių matavimo prietaisų sistemas?
3. Kaip sudarytas ir kaip veikia magnetoelektrinės sistemos prietaisas?
4. Kaip sudarytas ir kaip veikia elektrodinaminės sistemos prietaisas?
5. Kaip sudarytas ir kaip veikia elektromagnetinės sistemos prietaisas?
6. Kaip sudarytas ir kaip veikia elektrostatinės sistemos prietaisas?
7. Išvardinkite įvairių sistemų prietaisų panaudojimo sritis.
8. Ką reiškia žymėjimai prietaisų skalėse?

9. Ką rodys magnetoelektrinės sistemos ampermetras įjungtas į grandinę, kurios varža  $R = 10 \, \Omega$ , kai veikia įtampa  $u(t) = 25 + 50 \sin \omega t$ ?

10. Ką rodys elektrodinaminės sistemos voltmetras, prijungtas prie įtampos  $u(t) = 25 + 50 \sin \omega t$  šaltinio?

11. Kaip parenkamas pavyzdinis prietaisas?

12. Kokios prietaiso naudojimo sąlygos vadinamos normaliomis?

13. Ką vadiname pagrindine prietaiso paklaida?

14. Kokios paklaidos vadinamos papildomomis?

15. Kokios paklaidos vadinamos sistemingosiomis ir kokios atsitiktinėmis?

16. Kokios paklaidos vadinamos absoliutinėmis ir kokios – santykinėmis?

17. Kaip vertinama matavimų standartinė paklaida?

18. Kaip vertinama matavimų ribinė paklaida?

19. Kaip apvalinamos paklaidos ir matavimo rezultatai?

20. Kaip sumuojamos sistemingosios ir atsitiktinės paklaidos?

21. Ką vadiname prietaiso tikslumo klase? Kaip ji nustatoma ir žymima?

22. Kaip galima praplėsti voltmetrų ir ampermetrų matavimo ribas? Kokie mastelio keitikliai naudojami?

23. Kokia turi būti miliampermetro su viršutine skalės riba 0,5 mA tikslumo klasė, kad, matuojant 0,1 A srovę santykinė paklaida neviršytų  $\pm 1 \, \%$ ?

24. Turime du ampermetrus: vieną 1,0 tikslumo klasės su 10 A skalės riba, kitą – 2,5 klasės su 5 A skalės riba. Kuriuo prietaisu matuodami 4 A srovę gausime tikslesnį rezultatą?

25. Kokia yra voltmetro su 5 V viršutine skalės riba tikslumo klasė, jeigu jo ribinė matavimo paklaida pastovi ir lygi  $\pm 0,0015 \, \text{V}$ ?

26. Matavimų paklaidos priklauso normaliajam tikimybių skirstiniui. Standartinė matavimų paklaida yra 3 mA. Sistemingosios paklaidos nėra. Kokia tikimybė, kad paklaidos modulis viršys 9 mA?

27. Įtampos matavimų paklaidos pasiskirstė pagal lygios tikimybės dėsnį nuo  $-1 \, \text{V}$  iki  $+5 \, \text{V}$ . Kokia matavimų sistemingoji paklaida, standartinė paklaida, tikimybė, kad atsitiktinės paklaidos modulis neviršys 1 mV?

## **Ketvirtas darbas**

# **Įtampų matavimas elektroniniais voltmetrais**

### **Darbo tikslas**

Išanalizuoti įvairių elektroninių voltmetrų struktūrines schemas, naudojamų juose svarbiausių funkcinių ir mastelio keitiklių sudarymo ypatumus ir jų savybes, nustatyti kaip nuo jų priklauso pagrindiniai voltmetrų metrologiniai ir eksploataciniai parametrai bei išsiaiškinti kaip voltmetrų su įvairiais funkciniais keitikliais rodmenys priklauso nuo matuojamosios įtampos formos.

### **Darbo užduotys**

**Namuose** išsiaiškinti kokios yra įtampų matuojamosios vertės ir **išvesti formules**, susiejančias voltmetrų su uždaraus nuolatiniai įtampai įėjimais ir pikinių verčių (amplitudės detektorius), vidutinių išlygintųjų verčių (tiesinis abiejų pusperiodžių detektorius) ir efektinių verčių (kvadratinis detektorius) funkciniais matavimo keitikliais rodmenis su įvairios formos kintamųjų įtampų parametrais.

1. Naudojantis pateiktų elektroninių voltmetrų aprašymais ir rekomenduojama literatūra išanalizuoti jų struktūrines elektrines schemas ir išsiaiškinti šių schemų elementų paskirtį bei ypatumus.

2. Aprašyti kiekvieno elektroninio voltmetro detektorių tipus ir jų schemų ypatumus.

3. Susipažinti su kitais darbe naudojamais matavimo prietaisais: funkcinio ir impulsinio generatoriais bei oscilografu.

4. Užrašyti ir išstudijuoti kiekvieno pateikto elektroninio voltmetro svarbiausias metrologines savybes.

5. Įjungti visas darbe naudojamas matavimo priemones ir kompiuterius.

6. Parodyti dėstytojui išvestąsias formules voltmetrų rodmenų skaičiavimui

7. **Išmatuoti dėstytojo nurodytų įvairios formos virpesių įtampą** visais esamais darbo vietoje elektroniniais voltmetrais bei oscilografu užfiksuoti jų oscilogramų parametrus ir rezultatus surašyti į rezultatams surašyti skirtą lapą. Oscilografo valdymui ir oscilogramų dokumentavimui galima naudoti kompiuterio valdymo programą ir atitinkamą interfeisą.

8. Pagal oscilogramos teikiamus įtampos parametrus ir išvestas formules apskaičiuoti kokie turėjo būti voltmetrų rodmenys.

7. Pagal rodmenų priklausomybę nuo įtampos formos, nustatyti koks yra funkcinis keitiklis (detektorius) skaitmeninio voltmetro (multimetro).

8. Palyginti ir aptarti matavimų bei skaičiavimų rezultatus ir padaryti išvadas.

### ***Metodiniai nurodymai***

Matuojant virpesių įtampą, naudojamas toks virpesių dažnis, kai elektroninių voltmetrų jautrumas yra didžiausias (dažniausiai – 1 kHz).

Virpesių parametrai (amplitudė, periodas, impulsų trukmė) nustatomi iš oscilogramos. Pagal ją taip pat tikrinama ar virpesys simetriškas ar ne. Nesimetriško virpesio atveju tiksliau ištiriami tie virpesio parametrai, nuo kurių priklauso virpesio nuolatinės dedamosios dydis (pavyzdžiui, periodo ir impulso trukmės santykis). Žinant virpesio parametrus ir įvertinus voltmetro įėjimo grandinės schemą (ar ji atvira ar uždara nuolatinei įtampos dedamajai) ir voltmetro detektoriaus tipą (tiesinis, amplitudės ar kvadratinis) galima apskaičiuoti kokie turi būti voltmetro rodmenys.

Trečiame skyriuje yra aptarta, kad kai voltmetras skirtas tik kintamosios įtampos matavimui, jo įėjimo grandinė yra uždara nuolatinei įtampai, todėl iš virpesio turi būti atimta nuolatinė įtampos dalis  $U_0$  ir tik po to apskaičiuota ta kintamosios įtampos vertė į kurią reaguoja detektorius. Apskaičiavus šią įtampos vertę, dar reikia įvertinti tai, kad visi voltmetrai (išskyrus impulsinius) graduojami ***sinusinės formos įtampos efektinėmis vertėmis***. Įvertinus gradavimo sąlygą ir tai į ką reaguoja voltmetro detektorius, bei jo įėjimo grandinės savybes (uždara ar atvira) galima nustatyti koks turi būti voltmetro rodmuo  $U_v$  esant tiriamai įtampos formai.

Paanalizuokime tipinius atvejus.

## Praktiniai darbai

1. Voltmetras, skirtas matuoti kintamajai įtampai, turi *tiesinį detektorių* ir kaip matosi iš jo schemos, išlygina abu kintamosios įtampos pusperiodžius. Kaip žinoma, tokio detektoriaus teikiama išėjimo nuolatinė įtampa yra proporcinga jo įėjimo kintamosios įtampos vidutinei išlygintajai vertei:

$$U_{v.l.} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t) - U_0| dt. \quad (1)$$

Voltmetras, kaip minėta, yra graduotas sinusoidės formos įtampos efektinėmis vertėmis ir gradavimo metu ryšys tarp sinusoidės efektinės vertės ir jos vidutinės išlygintosios vertės, nustatomas sinusoidės formos koeficientu dvipusiam išlyginimui, buvo:

$$\frac{U_v}{U_{v.l.}} = \frac{U}{U_{v.l.}} = k_{F\sim} = \frac{U_m \pi}{2U_m \sqrt{2}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1,11, \quad (2)$$

čia  $U_v$  yra voltmetro rodmuo.

Tada tokio voltmetro rodmuo yra:

$$U_v = 1,11 \frac{1}{T} \int_0^T [u(t) - U_0] dt \quad (3)$$

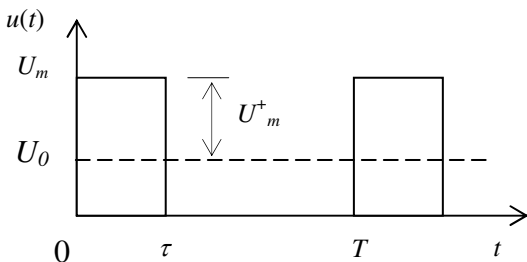
2. Voltmetras, skirtas matuoti kintamajai įtampai, turi *pikinį detektorių* ir kaip matosi iš jo schemos, reaguoja tik į kintamosios įtampos teigiamus pusperiodžius. Kaip žinoma, tokio detektoriaus teikiama išėjimo nuolatinė įtampa yra proporcinga jo įėjimo kintamosios įtampos atitinkamos amplitudės vertei. Voltmetro rodmuo bus mažesnis už ją tiek, kiek gradavimo metu naudotos sinusoidės efektinė vertė mažesnė už jos amplitudės vertę t.y.  $\sqrt{2}$  (nevertinant detektoriaus įtampos perdavimo sistemos paklaidos):

$$U_v = \frac{U_m - U_0}{\sqrt{2}} \approx 0,707(U_m - U_0) \quad (4)$$

3. Voltmetras, skirtas matuoti kintamajai įtampai, turi *kvadratinį keitiklį* ir keitiklio teikiama išėjimo nuolatinė įtampa yra proporcinga jo įėjimo kintamosios įtampos vidutinei kvadratinei (efektinei) vertei. Voltmetro rodmuo sutaps su šia verte, nes jis yra graduotas efektinėmis vertėmis:

$$U_v = U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [u(t) - U_0]^2 dt} . \quad (5)$$

Jeigu matuojamos įtampos yra simetrinės funkcijos t.y. neturi nuolatinės dedamosios  $U_0$  tai minėtos formulės gaunasi paprastesnės.



4 pav. Stačiakampių impulsų periodinės sekos pavidalo matuojamoji įtampa

Atlikime skaičiavimus konkrečiai įtampai. Tarkime, kad voltmetru su tiesiniu detektoriumi aptartu pirmuoju atveju yra matuojama vieno ženklo stačiakampių impulsų periodinės sekos įtampa (4 pav.).

Tokios įtampos vidutinė išlygintoji

vertė, kai išlyginami abu kintamosios įtampos pusperiodžiai, yra:

$$\begin{aligned} U_{v.l.} &= \frac{1}{T} \left( \int_0^{\tau} U_m^+ dt + \int_{\tau}^T U_0 dt \right) = \frac{1}{T} [(U_m - U_0)\tau + \\ &U_0(T - \tau)] = \frac{1}{Q} \left( U_m - \frac{U_m}{Q} \right) + \frac{U_m}{Q} \left( 1 - \frac{1}{Q} \right) = \\ &2U_m \left( \frac{1}{Q} - \frac{1}{Q^2} \right) = 2U_m \frac{Q-1}{Q^2}, \end{aligned} \quad (6)$$

čia  $Q = T/\tau$  yra impulsų sekos retis.

Tada, įvertinę gradavimo sąlygą (2), gautume formulę analizuojamo voltmetro rodmeniui apskaičiuoti, kai matuojama 1 paveiksle pavaizduotos nesinusinės formos įtampa:

$$U_v = U_{v.l.} k_{F\sim} = \frac{2U_m(Q-1)\pi}{Q^2 2\sqrt{2}} \approx 2,22U_m \frac{Q-1}{Q^2}. \quad (7)$$

**Analogiškai reikia išvesti ir kitų voltmetrų rodmenų formules kitų formų virpesių įtampos matavimo atvejams.**

## **Praktiniai darbai**

---

### **Ataskaitos turinys**

1. Darbo tikslas.
2. Naudotų darbe elektroninių voltmetrų struktūrinės schemos.
3. Voltmetrų detektorių schemų ir jų savybių aprašymas.
4. Kiekvieno naudoto darbe voltmetro svarbiausių metrologinių savybių aprašymas.
5. Sinusinės ir visų nesinusinės formos įtampų oscilogramos, matavimų rezultatai ir rodmenų skaičiavimo formulės bei skaičiavimo rezultatai.
6. Kiti rezultatai pagal užduotį ir darbo rezultatų aptarimas ir išvados.

### **Kontroliniai klausimai ir užduotys**

1. Kokie esminiai reikalavimai keliami voltmetrams?
2. Kaip klasifikuojami elektroniniai voltmetrai?
3. Kokios pagrindinės elektroninių voltmetrų struktūrinės schemos ir jų savybės?
4. Ką vadiname pikine, amplitudine, efektine, vidutine kvadratine, vidutine ir vidutine išlyginta įtampos verte?
5. Ką vadiname įtampos amplitudės ir formos koeficientais?
6. Kokie detektoriai naudojami elektroniniuose voltmetruose?
7. Ką vadiname pikiniu (amplitudės) detektoriumi? Kokios yra šių detektorių schemos ir savybės?
8. Ką vadiname tiesiniais (vidutinių išlygintųjų verčių) detektoriais? Kokios yra šių detektorių schemos ir savybės?
9. Ką vadiname efektnių verčių (kvadratiniais detektoriais arba keitikliais)? Kokios yra jų schemos ir savybės?
10. Kokie detektoriai naudojami voltmetruose, skirtuose sinusinei įtampai matuoti?
  - 1 1. Kokie detektoriai naudojami impulsiniuose voltmetruose?
  - 1 2. Kada naudojami kvadratiniai detektoriai (keitikliai)?
  - 1 3. Kodėl voltmetrų rodmenys priklauso nuo matuojamosios įtampos kreivės formos ?
14. Kokie pagrindiniai ASK tipai naudojami skaitmeniniuose elektroniniuose voltmetruose ?
15. Analoginis neimpulsinis voltmetras su amplitudiniu detektoriumi ir uždaru įėjimu matuoja įtampą schemeje, sudarytoje iš nuosekliai sujungtų diodo ir rezistoriaus. Schemos įėjime veikia

įtampa  $u(t)=252\sin\omega t$ . Ką rodys voltmetras schemos įėjime ir po diodo?

16. Ką rodys uždaro įėjimo voltmetrai su amplitudiniu, dvipusio išlyginimo tiesiniu ir kvadratinio detektoriais, jeigu jie graduoti sinusinės įtampos efektinėmis vertėmis, kai įtampa yra vieno ženklo stačiakampių impulsų periodinės sekos formos:  $U_m=10$  V, o impulsų retis  $Q=4$ ?

17. Impulsinis voltmetras su uždaru įėjimu rodo  $U_1=20$  V, o voltmetras su kvadratinio detektoriumi  $U_2=14,18$  V. Kokia matuojamosios įtampos forma? Kodėl?

18. Matuojant tuo pačiu voltmetru gautos tokios įtampų vertės:  $U_1=20$  V ir  $U_2=14,18$  V. Koks didesnės ir mažesnės įtampos santykis decibelais?

19. Nubraižyti skaitmeninio elektroninio voltmetro, su ASK, keičiančiu nuolatinę įtampą į jai proporcingą laiko intervalą dvigubo integravimo būdu, struktūrinę schemą ir pagrindines laiko diagramas, iliustruojančias schemos veikimą.

20. Nubraižyti skaitmeninio elektroninio voltmetro, su ASK, keičiančiu nuolatinę įtampą į jai proporcingą dažnį, struktūrinę schemą ir svarbiausias jo veikimą iliustruojančias laiko diagramas.

## **Penktas darbas**

# **Matavimai elektroniniu oscilografu**

### **Darbo tikslas**

Išanalizuoti šiuolaikiško elektroninio oscilografo struktūrinę schemą, veikimo principą, pagrindines metrologines savybes ir praktiškai išmokti juo matuoti svarbiausius elektrinių signalų parametrus bei patikrinti jo esminius metrologinius parametrus.

### **Darbo užduotys**

1. Nusibraižyti tipinę analoginio–skaitmeninio oscilografo struktūrinę schemą ir pagal ją bei rekomenduojamą literatūrą išstudijuoti jos elementų paskirtį bei tarpusavio sąveiką.

2. Užsirašyti ir išstudijuoti oscilografo svarbiausius metrologinius parametrus.

3. Išsiaiškinti svarbiausių oscilografo valdymo elementų paskirtį pagal jo aprašymą.

3. Susipažinti su kitais darbe naudojamais matavimo prietaisais: funkcinio generatoriumi ir voltmetrų kalibravimo prietaisu. Perskaityti šių prietaisų aprašymus. Užsirašyti šių prietaisų tuos metrologinius parametrus ir charakteristikas, kurie, jūsų nuomone, yra svarbūs ir reikalingi atliekant šį darbą.

4. Įjungti visas darbe naudojamas matavimo priemones ir kompiuterius.

5. Parodyti dėstytojui užsirašytus tiriamo oscilografo ir kitų darbe naudojamų prietaisų pagrindinius metrologinius parametrus.

6. ***Išmatuoti nurodytų periodinių elektrinių signalų parametrus ir nusibraižyti matavimų struktūrines schemas.***

### **Metodiniai nurodymai**

Sujungti oscilografą su tiriamų signalų šaltiniu. Visi naudojami prietaisai iki matavimų pradžios privalo išbūti įjungti ne trumpiau kaip 15 min.

Naudojant oscilografo valdymo kompiuteriu programą ir oscilografo priekinio panelio valdymo elementus, išmatuoti dėstytojo nurodytų signalų pagrindinius parametrus. Įtampa matuojama, prijungiant ją prie oscilografo vertikalios kreipimo kanalo įėjimo. Naudojamas kalibruoto (žinomo) kanalo kreipimo koeficiento būdas. Signalo laiko parametrai (trukmė, periodas) matuojami kalibruoto (žinomo) skleistinės koeficiento būdu.

Išsaugoti visų signalų oscilogramas standžiajame diske.

**4. Patikrinti amplitudžių matavimų oscilografu pagrindinę paklaidą ir ištirti oscilografo dažnines savybes.**

### **Metodiniai nurodymai**

Sujungti oscilografą su etalonine matavimo priemone (voltmetrų kalibravimo prietaisu).

Amplitudžių matavimo paklaida nustatoma kaip paduodamos į jo įėjimą etaloninės įtampos amplitudės  $A$  ir oscilogramoje išmatuotos įtampos amplitudės  $X$  santykinis skirtumas:

$$\delta = \frac{X - A}{A} 100, \% \quad (1)$$

Dažninės savybės tiriamos keičiant etaloninės įtampos dažnį ir nustatant amplitudžių matavimo paklaidos dažninę priklausomybę.

### **Ataskaitos turinys**

1. Darbo tikslas.
2. Naudoto oscilografo tipinė struktūrinė schema, jos trumpas aprašymas ir svarbiausi metrologiniai oscilografo parametrai.
3. Matavimų struktūrinės schemos.
4. Išmatuotų signalų oscilogramos su pažymėtais parametru simboliiais ir tų parametru vertėmis.
5. Amplitudžių matavimo oscilografu pagrindinės paklaidos tikrinimo struktūrinė schema ir tikrinimo rezultatai.
6. Amplitudžių matavimo oscilografu paklaidos dažninės priklausomybės tikrinimo rezultatai ir grafikai.
7. Atlikto darbo apibendrinimas. Išvados apie ištirtų oscilografo metrologinių parametru atitikimą gamintojo nurodytoms leistinoms vertėms (jos yra teikiamos oscilografo aprašyme).

## **Praktiniai darbai**

---

### **Kontroliniai klausimai ir užduotys**

1. Kokia oscilografų paskirtis ir kaip jie klasifikuojami?
2. Iš kokių svarbiausių struktūrinių dalių susideda analoginis ir analoginis–skaitmeninis elektroniniai oscilografai?
3. Kas yra sinchronizacija? Kokios sinchronizacijų rūšys naudojamos ir kada?
4. Kas yra skleistinė ir kokios jų rūšys naudojamos? Kada naudojama periodinė skleistinė?
5. Kada naudojama laukianti skleistinė?
6. Kaip veikia oscilografo skaitmeniniai signalų parametrų matuokliai?
7. Kokie pagrindiniai oscilografų metrologiniai parametrai?
8. Kaip oscilografu matuojama įtampa?
9. Kaip oscilografu matuojami signalų laiko parametrai?
10. Kaip oscilografu matuojamas fazių skirtumas?
11. Kokios matavimo paklaidų priežastys matuojant oscilografu?
12. Oscilografo skleistinės trukmė, pavyzdžiui, atitinkamai yra 50 ms/pad. ir 0,2  $\mu$ s/pad (1 pad. = 6 mm). Koks yra skleistinės greitis?

## Šeštas darbas

### Dažnio matavimas

#### Darbo tikslas

Susipažinti su įvairiais dažnio matavimo būdais bei prietaisais ir išmokyti jais naudotis.

#### Darbo užduotys

1. Susipažinti su pateiktų dažniamačių aprašymais ir veikimo principais. Nusibraižyti ir išsiaiškinti jo struktūrines schemas.

2. Aptarti kiekvieno dažniamačio svarbiausias metrologines savybes.

3. Įvairiais dažniamačiais išmatuoti keletą dėstytojo nurodytų elektrinio signalo dažnių ir įvertinti galimas ribines matavimo paklaidas.

4. Skaitmeniniu dažniamačiu išmatuoti signalo ir dažnį ir periodą. Įvertinti matavimo paklaidas. Nustatyti, kokių dažnių atveju skaitmeniniais dažniamačiais geriau matuoti periodą, o kokių – dažnį.

#### Ataskaitos turinys

1. Darbo tikslas.

2. Naudojamų darbe dažniamačių struktūrinės schemas ir pagrindinių metrologinių savybių santrauka.

3. Išmatuotų dažnių ir laiko intervalų matavimo rezultatai ir jų absoliutinės bei santykinės ribinės paklaidos. Jos nustatomos pagal prietaiso aprašymuose pateiktas leistinas pagrindines ribines paklaidas.

4. Prietaiso su mažiausia paklaida rodomą rezultatą priėmę už teisingą, surandame kitų prietaisų paklaidas eksperimento metu ir palyginame jas su leistinomis. Darome išvadą apie tų prietaisų tikslumą.

5. Rezultatų, gautų vykdant 3 ir 4 punktus aptarimas ir išvados.

## **Praktiniai darbai**

---

### **Kontroliniai klausimai ir užduotys**

1. Kokius žinote dažnio matavimo būdus? Kokie būdai naudojami techniniuose ir kokie – laboratoriniuose matavimuose?

2. Koks kondensatorinio dažniamačio veikimo principas, panaudojimo sritys ir paklaidų šaltiniai?

3. Kokius žinote oscilografinius dažnio matavimo būdus?

4. Kaip nustatomas signalo dažnis oscilografu, naudojant žinomos skleistinės trukmės būdą? Kokie šiuo atveju paklaidų šaltiniai?

5. Kaip dažnis matuojamas oscilografu pagal Lisažu figūras? Kokie paklaidų šaltiniai?

6. Kaip dažnis matuojamas oscilografu apskritiminės skleistinės būdu? Kuo šis būdas pranašesnis už Lisažu figūrų būdą?

7. Raskite sinusinio signalo periodą ir dažnį, jeigu oscilografo ekrane jo ilgis, atitinkantis periodą užima 5 padalas, o oscilografo skleistinės koeficientas yra  $20 \mu\text{s}/\text{pad}$ ?

8. Kaip sudarytas ir kaip veikia skaitmeninis periodo matuoklis? Kokios jo matavimo paklaidos?

9. Kokia skaitmeninio dažniamačio struktūrinė schema ir koks jo veikimo principas? Kokie matavimo paklaidų šaltiniai?

10. Kada skaitmeniniu būdu matuojamas signalo dažnis ir kada – periodas? Kodėl?

11. Kaip sudarytas ir veikia heterodininis dažniamatis?

## Septintas darbas

# Elektronikos grandinių elementų parametrų matavimas

### Darbo tikslas

Susipažinti su  $R$ ,  $L$ ,  $C$ , matuoklių veikimu ir išmokti jais matuoti elektronikos grandinių elementų  $R$ ,  $L$ ,  $C$  parametrus.

### Darbo užduotis

1. Išstudijuoti pateiktų  $R$ ,  $L$ ,  $C$  matuoklių aprašymus, veikimo principus ir pagrindines metrologines savybes. Išsiaiškinti, kaip jais matuojami įvairūs elektronikos grandinių elementų parametrai.

2. Nusibraižyti matuoklių struktūrinės schemas ir užrašyti  $R$ ,  $L$ ,  $C$ ,  $\tan \delta$  matavimo ribas ir paklaidas.

3. Išmatuoti dėstytojo nurodytų elektronikos grandinių elementų parametrus įvairiomis dėstytojo nurodytomis matavimo priemonėmis. Rezultatus užrašyti, nurodant ir matavimo paklaidas. Palyginti rezultatus ir paklaidas.

### Ataskaitos turinys

1. Darbo tikslas.
2. Matuoklių struktūrinės schemas ir jų metrologinių savybių aprašymai.
3. Matavimų rezultatai, jų aptarimas ir išvados.

### Kontroliniai klausimai ir užduotys

1. Kaip atrodo bendriausia simetrinio keturių pečių tiltelio schema ir jo pusiausvyros sąlyga?

2. Kodėl tiltelyje stengiamasi turėti kuo mažiau reaktyvinių varžų?

3. Kaip į tiltelį įjungiamos vienos rūšies reaktyvinės varžos ir kaip – skirtingų rūšių?

4. Kokie matavimo prietaisai naudojami tiltelių pusiausvyrai stebėti?

## **Praktiniai darbai**

5. Nubraižykite tiltelio schemą talpos matavimui ir užrašykite matavimo lygtį.

6. Rezonansiniai  $R$ ,  $L$ ,  $C$  matavimo metodai ir jų panaudojimo sritys.

7. Generatoriniai  $L$  ir  $C$  matavimo būdai.

8. Atlikite 5 užduotį induktyvumo matavimui.

9. Kaip galima išmatuoti dviejų ričių tarpusavio induktyvumą?

10. Kodėl paprastu simetriniu tilteliu negalima išmatuoti mažų varžų ir tenka naudoti dvigubą tiltelį?

11. Nuo kuo priklauso tiltelių matavimo paklaidos?

12. Kokias žinote tiltelių rūšis?

13. Koks tiltelio varžos  $R_1$  dydis, jeigu likusių pečių varžos tokios:  $R_2=100\ \Omega$ ,  $R_3=2000\ \Omega$ ,  $R_4=524\ \Omega$ ?

14. Koks ritės induktyvumas, nuostolių varža ir kokybė (nuosekli atstojamoji nuostolių schema), jei subalansuoto tiltelio su lygiagrečiai sujungtais  $R_3C_3$  pavyzdiniais elementais parametrai tokie:  $R_2=100\ \Omega$ ,  $R_3=1000\ \Omega$ ,  $C_3=1\ \mu\text{F}$ ,  $R_4=100\ \Omega$ ,  $f=1000\ \text{Hz}$ ?

15. Kokia kondensatoriaus talpa ir koks nuostolių kampo tangentas, jeigu matuojant nuoseklioje atstojamojoje schemoje subalansuoto tiltelio parametrai tokie:  $R_2=1\ \text{k}\Omega$ ,  $R_3=500\ \Omega$ ,  $C_4=0,1\ \mu\text{F}$ ,  $R_4=10\ \Omega$ ,  $f=1000\ \text{Hz}$ ?

16. Kokie skaitmeninių  $R$ ,  $L$ ,  $C$ , matuoklių sudarymo principai?

# Literatūra

1. SEILIUS A. *Elektroninių matavimų metrologijos pagrindai*. Mokomoji knyga, Pirmasis leidimas 2001, Antrasis leidimas 2003. Vilnius: Technika, 272 p. ISBN 9986-05-434-6
2. SEILIUS A. *Introduction to electrical and electronic measurements*. Educational book, V.: Technika, 2007. 224 p. ISBN 978-9955-28-218-1
3. TALISKAUSKAS R. J. *Elektriniai matavimai ir prietaisai*, Mokomoji knyga, Kaunas, Technologija, 2002, 244 p. ISBN 9955-09-283-1
4. *Tarptautinis pagrindinių ir bendrųjų metrologijos terminų žodynas*. Parengė V. Valiukėnas ir P. J. Žilinskas. Vilnius. 1996. - 107 p.
5. *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, first edition, 1993, corrected and reprinted 1995. International Organization for Standardization (Geneva, Switzerland), ISBN 92-67-10188-9.
6. BELL D. *Electronic Instrumentation and Measurements*, 2/e. Prentice Hall, 1997. p. 452. ISBN 0-13-249954-1
7. WITTE R. A. *Electronic test Instruments: Analog and digital Measurements*, 2/e, Prentice Hall, 2002, 388 p. ISBN 0-13-066830-3
8. МИРСКИЙ Г. Я. *Электронные измерения*, М.: Радио и связь, 1986, 440 с.
9. ДВОРЯШИН Б.В. *Основы метрологии и радиоизмерения*, М.: Радио и связь, 1993, 320 с. ISBN 5-256-01020-4
10. КУКУШ В.Д. *Электрорадиоизмерения*, М.: Радио и связь, 1985, 368 с. UDK 621.317.08(075.8)
11. КУЗНЕЦОВ В.А., ЯЛУНИНА Г.В. *Основы метрологии*, М.: Издательство стандартов, 1995, 280 с. ISBN 5-7050-0438-9

1 priedas  
Integralinės Laplaso funkcijos

$$\Phi(y) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^y e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

reikšmės

| y          | 0             | 1             | 2             | 3             | 4             | 5             | 6             | 7             | 8             | 9             |
|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>0,0</b> | <b>0,0000</b> | <b>0,0080</b> | <b>0,0160</b> | <b>0,0239</b> | <b>0,0319</b> | <b>0,0399</b> | <b>0,0478</b> | <b>0,0558</b> | <b>0,0638</b> | <b>0,0717</b> |
| 0,1        | 0797          | 0876          | 0955          | 1034          | 1113          | 1192          | 1271          | 1350          | 1428          | 1507          |
| 0,2        | 1585          | 1663          | 1741          | 1819          | 1897          | 1974          | 2051          | 2128          | 2205          | 2282          |
| 0,3        | 2358          | 2434          | 2510          | 2586          | 2661          | 2737          | 2812          | 2886          | 2961          | 3035          |
| 0,4        | 3108          | 3182          | 3255          | 3328          | 3401          | 3473          | 3545          | 3616          | 3688          | 3759          |
| 0,5        | 3829          | 3899          | 3969          | 4039          | 4108          | 4177          | 4245          | 4313          | 4381          | 4448          |
| 0,6        | 4515          | 4581          | 4647          | 4713          | 4778          | 4843          | 4907          | 4971          | 5035          | 5098          |
| 0,7        | 5161          | 5223          | 5285          | 5346          | 5407          | 5467          | 5527          | 5587          | 5646          | 5705          |
| 0,8        | 5763          | 5821          | 5878          | 5935          | 5991          | 6047          | 6102          | 6157          | 6211          | 6265          |
| 0,9        | 6319          | 6372          | 6424          | 6476          | 6528          | 6579          | 6629          | 6680          | 6729          | 6778          |
| <b>1,0</b> | <b>0,6827</b> | <b>0,6875</b> | <b>0,6923</b> | <b>0,6970</b> | <b>0,7017</b> | <b>0,7063</b> | <b>0,7109</b> | <b>0,7154</b> | <b>0,7199</b> | <b>0,7243</b> |
| 1,1        | 7287          | 7330          | 7373          | 7415          | 7457          | 7499          | 7540          | 7580          | 7620          | 7660          |
| 1,2        | 7699          | 7737          | 7775          | 7813          | 7850          | 7887          | 7923          | 7959          | 7995          | 8029          |
| 1,3        | 8064          | 8098          | 8132          | 8165          | 8198          | 8230          | 8262          | 8293          | 8324          | 8355          |
| 1,4        | 8385          | 8415          | 8444          | 8473          | 8501          | 8529          | 8557          | 8584          | 8611          | 8638          |
| 1,5        | 8664          | 8690          | 8715          | 8740          | 8764          | 8789          | 8812          | 8836          | 8859          | 8882          |
| 1,6        | 8904          | 8926          | 8948          | 8969          | 8990          | 9011          | 9031          | 9051          | 9070          | 9090          |
| 1,7        | 9109          | 9127          | 9146          | 9164          | 9181          | 9199          | 9216          | 9233          | 9249          | 9265          |
| 1,8        | 9281          | 9297          | 9312          | 9327          | 9342          | 9357          | 9371          | 9385          | 9399          | 9412          |
| 1,9        | 9426          | 9439          | 9451          | 9464          | 9476          | 9488          | 9500          | 9512          | 9523          | 9534          |
| <b>2,0</b> | <b>0,9545</b> | <b>0,9556</b> | <b>0,9566</b> | <b>0,9576</b> | <b>0,9586</b> | <b>0,9596</b> | <b>0,9606</b> | <b>0,9615</b> | <b>0,9625</b> | <b>0,9634</b> |
| 2,1        | 9643          | 9651          | 9660          | 9668          | 9676          | 9684          | 9692          | 9700          | 9707          | 9715          |
| 2,2        | 9722          | 9729          | 9736          | 9743          | 9749          | 9756          | 9762          | 9768          | 9774          | 9780          |
| 2,3        | 9786          | 9791          | 9797          | 9802          | 9807          | 9812          | 9817          | 9822          | 9827          | 9832          |

---

**Priedai****1 priedo tęsinys**

| y          | 0             | 1            | 2            | 3            | 4            | 5            | 6            | 7            | 8            | 9             |
|------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| 2,4        | 9836          | 9840         | 9845         | 9849         | 9853         | 9857         | 9861         | 9865         | 9869         | 9872          |
| 2,5        | 9876          | 9879         | 9883         | 9886         | 9889         | 9892         | 9895         | 9898         | 99012        | 99040         |
| 2,6        | 99068         | 99095        | 99121        | 99146        | 99171        | 99195        | 99219        | 99241        | 99264        | 99285         |
| 2,7        | 99307         | 99327        | 99347        | 99367        | 99386        | 99404        | 99422        | 99439        | 99456        | 99473         |
| 2,8        | 99489         | 99505        | 99520        | 99535        | 99549        | 99563        | 99576        | 99590        | 99602        | 99615         |
| 2,9        | 99627         | 99639        | 99650        | 99661        | 99672        | 99682        | 99692        | 99702        | 99712        | 99721         |
| <b>3,0</b> | <b>99730</b>  | <b>99739</b> | <b>99747</b> | <b>99755</b> | <b>99763</b> | <b>99771</b> | <b>99779</b> | <b>99768</b> | <b>99793</b> | <b>99800</b>  |
| 3,1        | 99806         | 99813        | 99819        | 99825        | 99831        | 99837        | 99842        | 99848        | 99853        | 99858         |
| 3,2        | 99863         | 99867        | 99872        | 99876        | 99880        | 99885        | 99889        | 99892        | 99896        | 99900         |
| 3,3        | 999033        | 999067       | 999100       | 999132       | 999162       | 999192       | 999221       | 999248       | 999275       | 999301        |
| 3,4        | 999326        | 999350       | 999374       | 999396       | 999418       | 999439       | 999460       | 999480       | 999499       | 999517        |
| 3,5        | 999535        | 999552       | 999568       | 999584       | 999600       | 999615       | 999629       | 999643       | 999656       | 999669        |
| 3,6        | 999682        | 999694       | 999705       | 999717       | 999727       | 999738       | 999748       | 999757       | 999767       | 999776        |
| 3,7        | 999784        | 999793       | 999801       | 999809       | 999816       | 999823       | 999830       | 999837       | 999843       | 999849        |
| 3,8        | 999855        | 999861       | 999867       | 999872       | 999877       | 999882       | 999887       | 999891       | 999896       | 999900        |
| 3,9        | 999904        |              |              |              |              |              |              |              |              |               |
| <b>4,0</b> | <b>999937</b> |              |              |              |              |              |              |              |              | <b>999994</b> |

## 2 priedas

Stjudento koeficiento  $t_q$  reikšmės, atitinkančios sąlygą:

$$q = P(|T| \leq t_q) = \frac{2 \cdot \Gamma\left(\frac{k+1}{2}\right)}{\sqrt{\pi k} \cdot \Gamma\left(\frac{k}{2}\right)} \cdot \int_0^{t_q} \left(1 + \frac{t^2}{k}\right)^{-\frac{k+1}{2}} dt$$

| Laisvės<br>laipsniai<br>$k = n - 1$ | tikimybė $q$ |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                     | 0,80         | 0,90  | 0,95  | 0,98  | 0,99  | 0,999 |
| 1                                   | 3,078        | 6,314 | 12,71 | 31,82 | 63,66 | 636,6 |
| 2                                   | 1,886        | 2,920 | 4,303 | 6,965 | 9,925 | 31,60 |
| 3                                   | 1,638        | 2,353 | 3,182 | 4,541 | 5,841 | 12,94 |
| 4                                   | 1,533        | 2,132 | 2,776 | 3,747 | 4,604 | 8,610 |
| 5                                   | 1,476        | 2,015 | 2,571 | 3,365 | 4,032 | 6,859 |
| 6                                   | 1,440        | 1,943 | 2,447 | 3,143 | 3,707 | 5,959 |
| 7                                   | 1,415        | 1,895 | 2,365 | 2,998 | 3,499 | 5,405 |
| 8                                   | 1,397        | 1,860 | 2,306 | 2,896 | 3,355 | 5,041 |
| 9                                   | 1,383        | 1,833 | 2,262 | 2,821 | 3,250 | 4,781 |
| 10                                  | 1,372        | 1,812 | 2,228 | 2,764 | 3,169 | 4,587 |
| 11                                  | 1,363        | 1,796 | 2,201 | 2,718 | 3,106 | 4,487 |
| 12                                  | 1,356        | 1,782 | 2,179 | 2,681 | 3,055 | 4,318 |
| 13                                  | 1,350        | 1,771 | 2,160 | 2,650 | 3,012 | 4,221 |
| 14                                  | 1,345        | 1,761 | 2,145 | 2,624 | 2,977 | 4,140 |
| 15                                  | 1,341        | 1,753 | 2,131 | 2,602 | 2,947 | 4,073 |
| 16                                  | 1,337        | 1,746 | 2,120 | 2,583 | 2,921 | 4,015 |
| 17                                  | 1,333        | 1,740 | 2,110 | 2,567 | 2,898 | 3,967 |
| 18                                  | 1,330        | 1,734 | 2,101 | 2,552 | 2,878 | 3,922 |
| 19                                  | 1,328        | 1,729 | 2,093 | 2,539 | 2,861 | 3,885 |
| 20                                  | 1,325        | 1,725 | 2,086 | 2,528 | 2,845 | 3,853 |
| 21                                  | 1,323        | 1,721 | 2,080 | 2,518 | 2,831 | 3,825 |
| 22                                  | 1,321        | 1,717 | 2,074 | 2,508 | 2,819 | 3,799 |
| 23                                  | 1,319        | 1,714 | 2,069 | 2,500 | 2,807 | 3,775 |

| Laisvės<br>laipsniai<br>$k = n - 1$ | tikimybė $q$ |         |         |         |         |         |
|-------------------------------------|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                                     | 0,80         | 0,90    | 0,95    | 0,98    | 0,99    | 0,999   |
| 24                                  | 1,318        | 1,711   | 2,064   | 2,492   | 2,797   | 3,745   |
| 25                                  | 1,316        | 1,708   | 2,060   | 2,485   | 2,787   | 3,725   |
| 26                                  | 1,315        | 1,706   | 2,056   | 2,479   | 2,779   | 3,709   |
| 27                                  | 1,314        | 1,703   | 2,052   | 2,473   | 2,771   | 3,692   |
| 28                                  | 1,313        | 1,701   | 2,048   | 2,467   | 2,763   | 3,675   |
| 29                                  | 1,311        | 1,699   | 2,045   | 2,462   | 2,756   | 3,659   |
| 30                                  | 1,310        | 1,697   | 2,042   | 2,457   | 2,750   | 3,646   |
| 35                                  | 1,306        | 1,689   | 2,030   | 2,437   | 2,724   | 3,591   |
| 40                                  | 1,303        | 1,684   | 2,021   | 2,423   | 2,704   | 3,551   |
| 45                                  | 1,301        | 1,679   | 2,014   | 2,412   | 2,689   | 3,522   |
| 50                                  | 1,299        | 1,676   | 2,008   | 2,403   | 2,677   | 3,497   |
| 60                                  | 1,296        | 1,671   | 2,000   | 2,390   | 2,660   | 3,460   |
| 70                                  | 1,294        | 1,667   | 1,995   | 2,381   | 2,648   | 3,436   |
| 80                                  | 1,293        | 1,664   | 1,990   | 2,374   | 2,639   | 3,416   |
| 90                                  | 1,292        | 1,662   | 1,987   | 2,368   | 2,632   | 3,401   |
| 100                                 | 1,290        | 1,660   | 1,984   | 2,364   | 2,626   | 3,391   |
| 120                                 | 1,289        | 1,657   | 1,980   | 2,358   | 2,618   | 3,374   |
| 140                                 | 1,288        | 1,656   | 1,977   | 2,354   | 2,613   | 3,362   |
| 160                                 | 1,287        | 1,654   | 1,975   | 2,351   | 2,609   | 3,353   |
| 180                                 | 1,286        | 1,653   | 1,973   | 2,349   | 2,606   | 3,346   |
| 200                                 | 1,286        | 1,652   | 1,972   | 2,347   | 2,603   | 3,340   |
| 220                                 | 1,285        | 1,652   | 1,971   | 2,345   | 2,601   | 3,339   |
| $\infty$                            | 1,28155      | 1,64485 | 1,95996 | 2,32634 | 2,57582 | 3,29106 |

Kai  $k > 100$ , tai Stjudento koeficientai yra gauti panaudojus tokią apytikslę formulę:

$$t_q(q, k) = t_q(q, \infty) + \frac{100}{k} [t_q(q, 100) - t_q(q, \infty)].$$

## Priedai

### 3 priedas

$\chi^2$  (Pirsono) pasiskirstymo kritiniai taškai  $\chi^2_q$ , atitinkantys sąlygą:

$$q = P\left(\chi^2 > \chi^2_q\right) = \frac{1}{2^{\frac{k}{2}} \cdot \Gamma\left(\frac{k}{2}\right)} \cdot \int_{\chi^2_q}^{\infty} z^{\frac{k}{2}-1} \cdot e^{-\frac{z}{2}} dz$$

ir pasiskirstymo laisvės laipsnių skaičių  $k$ . Galima tiesinė interpoliacija tik pagal  $k$ . Kai  $k > 30$ , kritinių taškų reikšmės apskaičiuojamos pagal apytikslę formulę:  $\chi^2_q \approx k \left(1 - \frac{2}{9k} + t_q \sqrt{\frac{2}{9k}}\right)^3$ , kur  $t_q$  – normaliojo tikimybių skirstinio kritinis taškas, esant tai pačiai tikimybei  $q$ .

| Laisvės laipsnių skaičius $k$ | Tikimybė $q$ |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------|--------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                               | 0,99         | 0,98   | 0,95   | 0,90  | 0,80  | 0,70  | 0,50  | 0,30  | 0,20  | 0,10  | 0,05  | 0,02  | 0,01  |
| 1                             | 0,00016      | 0,0006 | 0,0039 | 0,016 | 0,064 | 0,148 | 0,455 | 1,074 | 1,642 | 2,71  | 3,84  | 5,41  | 6,64  |
| 2                             | 0,020        | 0,040  | 0,103  | 0,211 | 0,446 | 0,713 | 1,386 | 2,41  | 3,22  | 4,60  | 5,99  | 7,82  | 9,21  |
| 3                             | 0,115        | 0,185  | 0,352  | 0,584 | 1,005 | 1,424 | 2,37  | 3,66  | 4,64  | 6,25  | 7,82  | 9,84  | 11,34 |
| 4                             | 0,297        | 0,429  | 0,711  | 1,064 | 1,649 | 2,20  | 3,36  | 4,88  | 5,99  | 7,78  | 9,49  | 11,67 | 13,28 |
| 5                             | 0,554        | 0,752  | 1,145  | 1,610 | 2,34  | 3,00  | 4,35  | 6,06  | 7,29  | 9,24  | 11,07 | 13,39 | 15,09 |
| 6                             | 0,872        | 1,134  | 1,635  | 2,20  | 3,07  | 3,83  | 5,35  | 7,23  | 8,56  | 10,64 | 12,59 | 15,03 | 16,81 |
| 7                             | 1,239        | 1,564  | 2,17   | 2,83  | 3,82  | 4,67  | 6,35  | 8,38  | 9,80  | 12,02 | 14,07 | 16,62 | 18,48 |
| 8                             | 1,646        | 2,03   | 2,73   | 3,49  | 4,59  | 5,53  | 7,34  | 9,52  | 11,03 | 13,36 | 15,51 | 18,17 | 20,09 |

| Laisvės<br>laipsnių<br>skaičius $k$ | Tikimybė $q$ |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                     | 0,99         | 0,98  | 0,95  | 0,90  | 0,80  | 0,70  | 0,50  | 0,30  | 0,20  | 0,10  | 0,05  | 0,02  | 0,01  |
| 9                                   | 2,09         | 2,53  | 3,32  | 4,17  | 5,38  | 6,39  | 8,34  | 10,66 | 12,24 | 14,68 | 16,92 | 19,68 | 21,67 |
| 10                                  | 2,56         | 3,06  | 3,94  | 4,86  | 6,18  | 7,27  | 9,34  | 11,78 | 13,44 | 15,99 | 18,31 | 21,16 | 23,21 |
| 11                                  | 3,05         | 3,61  | 4,58  | 5,58  | 6,99  | 8,15  | 10,34 | 12,90 | 14,63 | 17,28 | 19,68 | 22,62 | 24,73 |
| 12                                  | 3,57         | 4,18  | 5,23  | 6,30  | 7,81  | 9,03  | 11,34 | 14,01 | 15,81 | 18,55 | 21,03 | 24,05 | 26,22 |
| 13                                  | 4,11         | 4,76  | 5,89  | 7,04  | 8,63  | 9,93  | 12,34 | 15,12 | 16,98 | 19,81 | 22,38 | 25,47 | 27,69 |
| 14                                  | 4,66         | 5,34  | 6,57  | 7,79  | 9,47  | 10,82 | 13,34 | 16,22 | 18,15 | 21,06 | 23,68 | 26,87 | 29,14 |
| 15                                  | 5,23         | 5,98  | 7,26  | 8,55  | 10,31 | 11,72 | 14,34 | 17,32 | 19,31 | 22,31 | 25,00 | 28,26 | 30,58 |
| 16                                  | 5,81         | 6,61  | 7,96  | 9,31  | 11,15 | 12,62 | 15,34 | 18,42 | 20,47 | 23,54 | 26,30 | 29,63 | 32,00 |
| 17                                  | 6,41         | 7,26  | 8,67  | 10,08 | 12,00 | 13,53 | 16,34 | 19,51 | 21,62 | 24,77 | 27,60 | 31,00 | 33,41 |
| 18                                  | 7,02         | 7,91  | 9,39  | 10,86 | 12,86 | 14,44 | 17,34 | 20,60 | 22,76 | 26,99 | 28,87 | 32,35 | 34,81 |
| 19                                  | 7,63         | 8,57  | 10,11 | 11,65 | 13,72 | 15,35 | 18,34 | 21,69 | 23,90 | 27,20 | 30,14 | 33,69 | 36,19 |
| 20                                  | 8,26         | 9,24  | 10,85 | 12,44 | 14,58 | 16,27 | 19,34 | 22,78 | 25,04 | 28,41 | 31,41 | 35,02 | 37,57 |
| 21                                  | 8,90         | 9,92  | 11,59 | 13,24 | 15,44 | 17,18 | 20,34 | 23,86 | 26,17 | 29,62 | 32,67 | 36,34 | 38,93 |
| 22                                  | 9,54         | 10,60 | 12,34 | 14,04 | 16,31 | 18,10 | 21,34 | 24,94 | 27,30 | 30,81 | 33,92 | 37,66 | 40,29 |
| 23                                  | 10,20        | 11,29 | 13,09 | 14,85 | 17,19 | 19,02 | 22,34 | 26,02 | 28,43 | 32,01 | 35,17 | 38,97 | 41,64 |
| 24                                  | 10,86        | 11,99 | 13,85 | 15,66 | 18,06 | 19,94 | 23,34 | 27,10 | 29,55 | 33,20 | 36,42 | 40,27 | 42,98 |
| 25                                  | 11,52        | 12,70 | 14,61 | 16,47 | 18,94 | 20,87 | 24,34 | 28,17 | 30,68 | 34,38 | 37,65 | 41,57 | 44,31 |
| 26                                  | 12,20        | 13,41 | 15,38 | 17,29 | 19,82 | 21,79 | 25,34 | 29,25 | 31,79 | 35,56 | 38,88 | 42,86 | 45,64 |
| 27                                  | 12,88        | 14,22 | 16,15 | 18,11 | 20,70 | 22,71 | 26,34 | 30,32 | 32,91 | 36,74 | 40,11 | 44,14 | 46,96 |

## Priedai

3 priedo tęsinys

| Laisvės<br>laipsnių<br>skaičius $k$ | Tikimybė $q$ |         |         |         |         |         |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------------------------|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                     | 0,99         | 0,98    | 0,95    | 0,90    | 0,80    | 0,70    | 0,50   | 0,30   | 0,20   | 0,10   | 0,05   | 0,02   | 0,01   |
| 28                                  | 13,56        | 14,85   | 16,93   | 18,94   | 21,59   | 23,65   | 27,34  | 31,39  | 34,03  | 37,92  | 41,34  | 45,42  | 48,28  |
| 29                                  | 14,26        | 15,54   | 17,71   | 19,77   | 22,48   | 24,58   | 28,34  | 32,46  | 35,14  | 39,09  | 42,56  | 46,70  | 49,59  |
| 30                                  | 14,95        | 16,31   | 18,49   | 20,60   | 23,36   | 25,51   | 29,34  | 33,53  | 36,25  | 40,26  | 43,77  | 47,96  | 50,89  |
| 40                                  | 22,16        | 23,85   | 26,51   | 29,05   | 32,35   | 34,88   | 39,34  | 44,16  | 47,27  | 51,81  | 55,76  | 60,43  | 63,69  |
| 50                                  | 29,70        | 31,68   | 34,76   | 37,69   | 41,46   | 44,32   | 49,34  | 54,72  | 58,17  | 63,17  | 67,50  | 72,60  | 76,16  |
| 60                                  | 37,48        | 39,72   | 43,19   | 46,46   | 50,65   | 53,81   | 59,34  | 65,22  | 68,97  | 74,40  | 79,08  | 84,56  | 88,38  |
| 70                                  | 45,44        | 47,92   | 51,74   | 55,33   | 59,90   | 63,35   | 69,34  | 75,68  | 79,72  | 85,53  | 90,53  | 96,37  | 100,43 |
| 80                                  | 53,54        | 56,24   | 60,39   | 64,28   | 69,21   | 72,92   | 79,34  | 86,12  | 90,41  | 96,58  | 101,88 | 108,05 | 112,33 |
| 90                                  | 61,75        | 64,67   | 69,13   | 73,29   | 78,56   | 82,52   | 89,34  | 96,52  | 101,06 | 107,57 | 113,14 | 119,62 | 124,12 |
| 100                                 | 70,07        | 73,18   | 77,93   | 82,36   | 87,95   | 92,13   | 99,34  | 106,90 | 111,67 | 118,50 | 124,34 | 131,11 | 135,81 |
| 120                                 | 86,92        | 90,41   | 95,70   | 100,62  | 106,81  | 111,42  | 119,34 | 127,61 | 132,81 | 140,23 | 146,57 | 153,88 | 158,95 |
| 140                                 | 104,04       | 107,86  | 113,66  | 119,03  | 125,76  | 130,77  | 139,33 | 148,27 | 153,86 | 161,83 | 168,61 | 176,43 | 181,84 |
| 160                                 | 121,35       | 125,49  | 131,76  | 137,54  | 144,79  | 150,16  | 159,33 | 168,87 | 174,83 | 183,31 | 190,52 | 198,80 | 204,53 |
| 180                                 | 138,82       | 143,27  | 149,97  | 156,16  | 163,87  | 169,59  | 179,33 | 189,44 | 195,75 | 204,71 | 212,30 | 221,03 | 227,05 |
| 200                                 | 156,44       | 161,16  | 168,28  | 174,84  | 183,01  | 189,05  | 199,33 | 209,98 | 216,61 | 226,03 | 233,99 | 243,13 | 249,44 |
| 220                                 | 174,16       | 179,16  | 186,67  | 193,58  | 202,18  | 208,54  | 219,33 | 230,50 | 237,44 | 247,28 | 255,60 | 265,14 | 271,71 |
| $t_q$                               | -2,3267      | -2,0500 | -1,6449 | -1,2816 | -0,8416 | -0,5244 | 0,0000 | 0,5244 | 0,8416 | 1,2816 | 1,6449 | 2,0500 | 2,3267 |

---

**Trečia dalis**

# **TERMINŲ ŽODYNĖLIS**

## **A**

**Absoliučioji paklaida** – paklaida išreikšta matavimo vienetais.

**Akreditavimas** – procedūra, kuria valdžios įgaliota įstaiga oficialiai pripažįsta, kad fizinis ar juridinis asmuo kompetentingi atlikti tam tikrus darbus.

**Analoginis matuoklis** – matuoklis, kurio rodmuo yra tolydžioji matuojamojo dydžio funkcija.

**Antrinis etalonas** – etalonas, kurio vertė lyginimo būdu nustatoma iš to paties dydžio pirminio etalono.

**Atsakas** – tam tikros sistemos (pavyzdžiui, matavimo keitiklio) išėjimo dydis.

**Atsako charakteristika** – ryšys tarp poveikio ir atsako į jį, esant tam tikroms sąlygoms.

**Atsitiktinė paklaida** – paklaida, kuri kartojant matavimus, kinta atsitiktiniu dėsnium.

## **B**

**Bedimensinis dydis** – dydis, kurio dimensijos formulėje pagrindinių dydžių dimensijų laipsnio rodikliai lygūs nuliui.

## **D**

**Dalinis matavimo vienetas** – mažesnis matavimo vienetas, pagal perskaičiavimo taisykles sudarytas iš tam tikro vieneto.

**Darbinis etalonas** – etalonas, kuriuo etalонуojamos darbinės matavimo priemonės.

**Dydžio dimensija** – formulė, tam tikroje dydžių sistemoje pateikianti dydį kaip sandaugą laipsninių daugiklių, reiškiančių šios sistemos pagrindinius dydžius.

**Dydžio vertė** – skaitine verte ir matavimo vienetu išreikštas kiekybinis dydžio įvertis.

## E

**Empirinis standartinis nuokrypis** – iš daugkartinių matavimų rezultatų aibės surastas rezultatų sklaidos matas, išreiškiamas 1 skyriaus (1.39) formule (žr. 38 p.).

**Empirinis standartinis vidurkio nuokrypis** – dydis  $\sqrt{n}$  kartų mažesnis už empirinį standartinį nuokrypį, įvertinantis aritmetinio vidurkio sklaidą (žr. 41 p.).

**Etalonas** – matavimų priemonė, atkurianti ir išlaikanti fizikinio dydžio vertę aukščiausiu tam tikram matavimui tikslumu.

**Etalonavimas** – veiksmų visuma, kuri susieja matavimo priemonės teikiamas dydžių vertes su atitinkamomis etalonų teikiamomis dydžių vertėmis.

**Etalonavimo liudijimas** – dokumentas, kuriame užfiksuotas tam tikro etalonavimo rezultatas.

**Etalonavimo seka** – nepertraukiamoji palyginimų su etalonais seka.

**Etalono išsaugojimas** – visuma techninių ir teisinių priemonių, būtinų išlaikyti etalonų vertes norminėmis.

**Etalonų rinkinys** – keletas vienaarūšių etalonų, parinktų, kad sudarytų fizikinių dydžių verčių seriją.

## **I**

**Ištaisytasis rezultatas** – pataisa pakoreguotas matavimo rezultatas.

**Išvestinis matavimo vienetas** – matavimo vienetų sistemos matavimo vienetas, išreikštas per kitus tos matavimo vienetų sistemos vienetus.

## **J**

**Jautris** – matavimo priemonės atsako ir atitinkamo poveikio pokyčių santykis.

**Jutiklis** – pirminis matavimo keitiklis, tiesiogiai veikiamas matuojamojo dydžio.

## **K**

**Kartotinis matavimo vienetas** –

**Kalibravimo liudijimas** – dokumentas, patvirtinantis matavimo sietį.

## **M**

**Matas** – matavimo priemonė, atkurianti ir išlaikanti vieną ar kelias tam tikro fizikinio dydžio vertes žinomu tikslumu.

**Matavimas** – veiksmų visuma, kuriais siekiama nustatyti nežinomą fizikinio dydžio vertę (platesnę apibrėžtį žr. 1 skyriaus 4 p.).

**Matavimo grandinė** – matavimo keitiklių grandinė, perduodanti matavimo informaciją.

**Matavimo įrenginys** – vienoje vietoje esančių ir funkciškai susietų matavimo priemonių visuma, skirta vieno ar kelių fizikinių dydžių matavimui.

**Matavimo keitiklis** – matavimo priemonė, žinomu tikslumu keičianti fizikinį dydį kitu tos pačios rūšies, bet kito didumo arba kitos rūšies fizikiniu dydžiu.

**Matavimo metodas** – matavimo metu naudojamų matavimo principų ir matavimo priemonių visuma.

**Matavimo neapibrėžtis** – su matavimo rezultatu susijęs parametras, objektyviai charakterizuojantis matuojamąjį dydį nusakančių verčių sritį.

**Matavimo paklaida** – matavimo rezultato ir tikrosios matuojamojo dydžio vertės skirtumas.

**Matavimo priemonė** – techninė priemonė, skirta matuoti ir turinti žinomas metrologines savybes.

**Matavimo priemonės kalibravimas** – visuma veiksmų, kuriais nurodytomis sąlygomis nustatomas kalibruojamos matavimo priemonės ar matavimo sistemos teikiamų dydžių verčių sutapimas arba skirtumas, lyginant su etaloninės matavimo priemonės rodомomis vertėmis.

**Matavimo priemonės tipas** – tos pačios paskirties ir vienodos konstrukcijos matavimo priemonės, kurių veikimas pagrįstas tuo pačiu principu.

**Matavimo priemonės patikra** – kitokia negu matavimo priemonės tipo patvirtinimas procedūra, kuri apima tyrimą bei ženklimą ir (arba) patikros sertifikato išdavimą ir kuria

## Terminų žodynėlis

konstatuojama bei patvirtinama, kad matavimo priemonė atitinka teisės aktų reikalavimus. Patikros rūšys yra šios:

**atrankinė patikra** – vienerūšių matavimo priemonių partijos patikra, pagrįsta tam tikro statistiškai tinkamo ir atsitiktinai iš identifikuotos partijos paimtų pavyzdžių skaičiaus tyrimo rezultatais;

**neeilinė patikra** – naudojamų matavimo priemonių patikra anksčiau nustatyto termino;

**periodinė patikra** – naudojamos matavimo priemonės patikra laikantis nustatytų terminų;

**pirminė patikra** – pagamintos ar sutaisytos matavimo priemonės pirmoji patikra.

**Matavimo priemonės tikslumas** – matavimo priemonės savybė teikti matavimo rezultatus artimus tikrajai matuojamojo dydžio vertei.

**Matavimo priemonės tipo įvertinimas** – sistemiškas vieno ar kelių matavimo priemonių identifikuoto tipo arba modelio pavyzdžių parametrų tyrimas ir bandymas bei lyginimas su dokumentų reikalavimais siekiant nustatyti, ar tas tipas gali būti patvirtintas.

**Matavimo priemonės tipo patvirtinimas** – procedūra, kurios metu valstybės įgaliota institucija nustato ir patvirtina, kad matavimo priemonės tipas atitinka nustatytus reikalavimus.

**Matavimo sietis** – matavimo rezultatų verčių ryšys su matavimo vieneto etalono vertėmis, nustatytas nenutrūkstamuju lyginamuoju metodu.

**Matavimo principas** – visuma fizikinių reiškinių, kuriais grindžiamas matavimas.

**Matavimo rezultatas** – matuojamojo dydžio vertė, nustatyta matuojant.

**Matavimo ribos** – mažiausia ir didžiausia fizikinio dydžio vertės, atitinkančios matavimo priemonės matavimo srities ribas.

**Matavimo (informacijos) signalas** – signalas funkciškai susijęs su matuojamojo dydžio verte.

**Matavimo sistema** – kartu sujungtų matavimo priemonių ir kitokių įrenginių grupė tam tikriems matavimams atlikti.

**Matavimo sisties schema** – etaloninių vienetų verčių perdavimo matavimo priemonėms grandinė, kurioje nurodyta vieneto verčių perdavimo ir neapibrėžčių palyginimo seka.

**Matavimo sritis** – matuojamojo dydžio verčių sritis, kurios ribose matavimo priemonės paklaidos yra norminės.

**Matavimo vienetas** – susitarimu apibrėžtas ir priimtas fizikinis dydis (su kuriuo lyginami kiti viena rūšiai dydžiai, norint juos kiekybiškai išreikšti šio dydžio atžvilgiu).

**Matavimo vieneto etalonas** – matavimo priemonė, matavimo sistema ar sertifikuotoji pamatinė medžiaga, skirti matavimo vieneto vienai ar kelioms vertėms atkurti, išsaugoti ir perduoti kitiems etalonams arba matavimo priemonėms.

**Matavimo vienetų sistema** – matavimo vienetų visuma sudaryta tam tikru įteisintu principu.

**Matavimo tikslumas** – matavimo savybė teikti matavimo rezultatus artimus tikrosioms matuojamųjų dydžių vertėms.

**Matuoklis** – matavimo priemonė, reaguojanti į matuojamąjį dydį ir teikianti savo rodmenų įtaise informaciją apie matuojamojo dydžio vertę.

**Metrologija** – matavimo mokslas. Metrologija apima visus teorinius ir praktinius matavimo aspektus, nesvarbu, kokia yra matavimų neapibrėžtis ir kurioje mokslo ar technikos srityje atliekami matavimai.

## Terminų žodynėlis

---

**Metrologinės savybės** – matavimo priemonės savybės, įtakojančios matavimo rezultatą.

## N

**Neištaisytais rezultatas** – matavimo rezultatas nesukoreguotas pataisa.

**Nesisteminis matavimo vienetas** – matavimo vienetas nepriklausantis tam tikrai matavimo vienetų sistemai.

**Norminės matavimo sąlygos** – matavimo priemonės naudojimo sąlygos, kurioms esant matavimo priemonės metrologinės savybės yra norminės.

## P

**Pamatinis matavimo vieneto etalonas** –geriausių metrologinių savybių etalonas toje vietovėje, vietoje ar toje organizacijoje, kurioje matuojama.

**Pagrindinė matavimo priemonės paklaida** – norminėmis matavimo sąlygomis naudojamos matavimo priemonės paklaida.

**Pagrindinis matavimo vienetas** – susitarimu įteisintas sudarant vienetų sistemą matavimo vienetas, sąlygiškai nepriklausomas nuo kitų tos pačios vienetų sistemos matavimo vienetų.

**Pataisa** – prie neištaisytojo matavimo rezultato algeбриškai pridedama fizikinio dydžio vertė, naikinanti sistemingąją paklaidą.

**Patikros sertifikatas** – dokumentas, patvirtinantis, kad matavimo priemonės patikros rezultatas patenkinamas.

**Paveikusias dydis** –nematuojamas, tačiau matavimo atlikimo metu turintis įtakos matavimo rezultatui fizikinis dydis.

**Pirminis etalonas** – geriausių metrologinių savybių etalonas, kurio vertė nustatyta nesiremiant kitais to paties fizikinio dydžio etalonais.

**Poveikis** – tam tikros sistemos (pavyzdžiui, matavimo keitiklio) įėjimo dydis.

## **R**

**Rodmenų įtaisas** – matavimo priemonės dalis teikianti matavimo rezultatą.

## **S**

**Santykinė paklaida** – absoliučiosios matavimo paklaidos ir tikrosios matuojamo dydžio vertės santykis.

Pastaba: kadangi tikroji matuojamo dydžio vertė išlieka nežinoma, tai vietoje jos naudojama sutartinė tikroji matuojamo dydžio vertė arba matavimo rezultatas.

**Sertifikuotoji pamatinė medžiaga** – turinti sertifikatą pamatinė medžiaga, kurios vienos ar daugiau savybių vertės yra patvirtintos naudojant etalonavimo procedūrą.

**Sietis** – matavimo rezultato arba matavimo priemonės savybė, siejanti juos su etalonų vertėmis, taikant pasirinktos neapibrėžties etalonavimo būdą imtinai nuo pamatinių iki valstybinių ir tarptautinių etalonų.

**Sieties seka** – etalonavimo seka.

**Skaitmeninis matuoklis** – matuoklis, teikiantis rodmenų įtaise matavimo rezultatą skaitmenų pavidalu.

## Terminų žodynėlis

---

**Sistemoji paklaida** – tomis pačiomis sąlygomis atliktų begalės kartojamų matavimų rezultatų vidurkio ir tikrosios matuojamojo dydžio vertės skirtumas.

**Sutartinė tikroji dydžio vertė** – vertė, pakankamai artima tikrajai, kurią konkrečiam matavimui galima naudoti vietoje tikrosios.

## T

**Tarptautinė vienetų sistema – SI** – matavimo vienetų sistema, kurią patvirtino 1960 m. XI Generalinė matų ir svorsčių konferencija.

**Tarptautinis etalonas** – tarptautine sutartimi pripažintas pirminis etalonas.

**Tikslumo klasė** – apibendrinta matavimo priemonės tikslumo kiekybinė charakteristika, teikianti informaciją apie tos matavimo priemonės pagrindinės paklaidos ribines vertes.

**Teisinė metrologija** – su matavimais susijusi metrologijos sritis, kurios veiklą reglamentuoja įstatymų ir kitų teisės aktų nustatyti reikalavimai ir vykdo kompetentingos tarptautinės ir valstybinės institucijos.

## V

**Valstybinis matavimo vieneto etalonas** – valstybės sprendimu pripažintas etalonas, kuris naudojamas valstybėje kaip pagrindinis, priskiriant tam tikro dydžio vertes kitiems etalonams.