

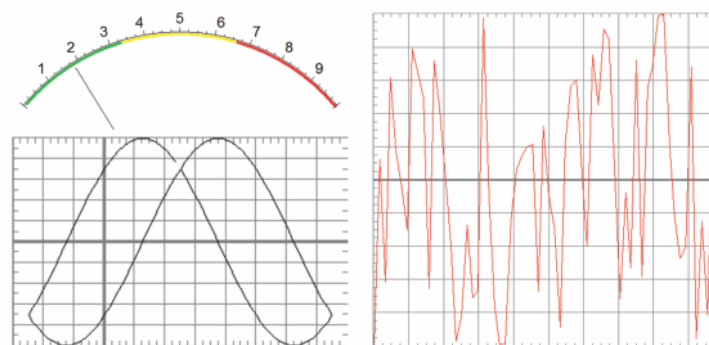
Основна namјena овог Практикума, за лабораторијске вјежбе из предмета Електрична мјерења, је да студентима друге године Електротехничког факултета Универзитета у Источном Сарајеву олакша практични рад у лабораторији на предмету Електрична мјерења. Очекује се да ће увођење практикума у наставу, олакшати извођење и разумјевање лабораторијских вјежби, повећати квалитет наставе, и унаприједити ниво знања, који студенти стичу на овом предмету. Кроз овај предмет студенти стичу разна практична знања из мјерења електричних мјерних величина. Сичена знања из овог предмета, студенти ће моћи користити и приликом лабораторијских вјежби из других предмета током студирања. Практикум садржи основне теоријске појмове везане за електрична мјерења, упутства за рад са мјерним инструментима, опис лабораторије и опис вјежби које се изводе у току наставе. Описан је и начин на који треба да се понашају студенти у лабораторији приликом извођења лабораторијских вјежби



ISBN 978-99976-682-2-6
COBISS.RS-ID 5942552

ПРАКТИКУМ ЗА ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ВЈЕЖБЕ ИЗ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЈЕРЕЊА

Проф. др Срђан Дамјановић
Мр Младен Бањанин
Мр Маријана Ћосовић
Мр Миодраг Форцан



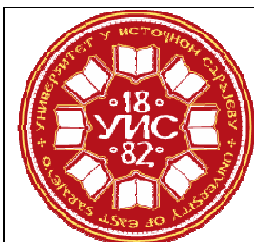
ПРАКТИКУМ

ЗА ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ВЈЕЖБЕ ИЗ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЈЕРЕЊА

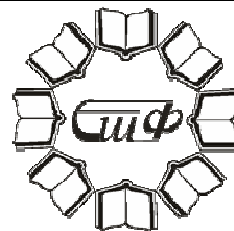


УНИВЕРЗИТЕТ У ИСТОЧНОМ САРАЈЕВУ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Источно Сарајево, 2016. године



**УНИВЕРЗИТЕТ
У ИСТОЧНОМ САРАЈЕВУ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ**



ПРАКТИКУМ ЗА ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ВЈЕЖБЕ ИЗ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЈЕРЕЊА

Проф. др Срђан Дамјановић

Младен Бањанин мр
мр Маријана Ћосовић
Миодраг Форцан мр

Источно Сарајево, 2016. године

Рецензенти:
Проф. др Божидар Крстајић
Доц. др Божидар Поповић

Издаје:
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ
Источно Сарајево

За издавача:
Проф. др Зоран Љубоје

Штампа:
ГРАФИКА ГОЛЕ

Бијељина

Тираж:
200 примјерака

ISBN: 978-99976-682-2-6

© 2016.

Сва права су задржана. Ниједан дио ове публикације не може бити репродукован нити смјештен у систем за претраживање или трансмитовање у било ком облику, електронски, механички, фотокопирањем, снимањем или на други начин, без предходне писмене дозволе аутора.

Посвета

*Ову књигу посвећујемо преминулом професору
Вељку Вулетићу.*

*Надамо се да сада с анђелима на врх неба
игра рауб, преферанс и бриџ.
(Ако нису знали “Цукићева карташка правила” -
имаће од кога да их науче.)*

Захвални његови студенти

САДРЖАЈ:

ПРЕДГОВОР	9
1. УВОД.....	11
2. ОПШТИ ПОЈМОВИ О ЕЛЕКТРИЧНИМ МЈЕРЕЊИМА	13
2.1. Систем мјерних јединица	14
2.2. Децималне мјерне јединице	18
2.3. Еталони електричних величина	18
2.4. Врсте мјерења	19
2.5. Грешке код мјерења.....	19
2.6. Класа тачности.....	21
2.7. Мјерна несигурност	24
2.7.1. Стандардна мјерна несигурност тип А	26
2.7.2. Стандардна мјерна несигурност тип Б.....	26
2.7.3. Комбинована мјерна несигурност.....	27
2.8. Функције расподеле.....	27
2.8.1. Гаусова (нормална) расподела	27
2.8.2. Правоугаона (униформна) расподела	29
2.8.3. Троугаона расподела	30
2.8.4. Утицај избора расподеле на изражавање мјерне несигурности.....	31
2.9. Представљање резултата мјерења.....	31
2.10. Символи аналогних електричних мјерних инструмената.....	32
3. ОСНОВНА УПУТСТВА И НАПОМЕНЕ ЗА РАД У ЛАБОРАТОРИЈИ.....	35
3.1. Хигијенско-техничке и противпожарне мјере заштите у лабораторији.....	35
3.2. Опште напомене за извођење лабораторијских вјежби и израду извјештаја ...	36
3.3. Пружање прве помоћи у случају удара електричне струје	38
4. ОПИС ЛАБОРАТОРИЈЕ ЗА ЕЛЕКТРИЧНА МЈЕРЕЊА	39
4.1. Опис радних столова	40
4.2. Опис мјерне опреме	41
4.2.1. Волтметри	43
4.2.2. Амперметри	44
4.2.3. Осцилоскоп	45
4.2.4. Генератор функција МА3733	50
4.2.5. Универзални R, L, C мјерни мост	51
4.3. Опис елемената	52
4.3.1. Отпорници	52
4.3.2. Кондензатори	55
4.3.3. Пригушнице	56

5. ОСНОВНЕ ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ВЈЕЖБЕ	57
5.1. Вјежба број 1 - Статистичка обрада резултата мјерења	57
5.1.1. Циљ вјежбе и теоријска подлога	57
5.1.2. Попис опреме	57
5.1.3. Начин извођења вјежбе	57
5.1.4. Питања и задаци	60
5.2. Вјежба број 2 – Еталонирање амперметра	61
5.2.1. Циљ вјежбе и теоријска подлога	61
5.2.2. Шема спајања	62
5.2.3. Попис опреме	62
5.2.4. Начин извођења вјежбе	62
5.2.5. Питања и задаци	63
5.3. Вјежба број 3 – Еталонирање волтметра	65
5.3.1. Циљ вјежбе и теоријска подлога	65
5.3.2. Шема спајања	65
5.3.3. Попис опреме	65
5.3.4. Начин извођења вјежбе	65
5.3.5. Питања и задаци	66
5.4. Вјежба број 4 – Проширивање мјерног опсега амперметра	67
5.4.1. Циљ вјежбе и теоријска подлога	67
5.4.2. Шема спајања	68
5.4.3. Попис опреме	68
5.4.4. Начин извођења вјежбе	68
5.4.5. Питања и задаци	69
5.5. Вјежба број 5 – Проширивање мјерног опсега волтметра	70
5.5.1. Циљ вјежбе и теоријска подлога	70
5.5.2. Шема спајања	70
5.5.3. Попис опреме	70
5.5.4. Начин извођења вјежбе	70
5.5.5. Питања и задаци	72
5.6. Вјежба број 6 – Мостови једносмјерне струје	73
5.6.1. Циљ вјежбе и теоријска подлога	73
5.6.2. Шема спајања	75
5.6.3. Попис опреме	75
5.6.4. Начин извођења вјежбе	75
5.6.5. Питања и задаци	76

5.7.	Вјежба број 7 – Мостови наизмјеничне струје	78
5.7.1.	Циљ вјежбе – теоријска подлога	78
5.7.2.	Шема спајања	79
5.7.3.	Попис опреме	79
5.7.4.	Начин извођења вјежбе	80
5.7.5.	Питања и задаци	81
5.8.	Вјежба број 8 – Мјерење облика сигнала са генератора функција помоћу осцилоскопа	82
5.8.1.	Циљ вјежбе – теоријска подлога	82
5.8.2.	Шема спајања	82
5.8.3.	Попис опреме	82
5.8.4.	Начин извођења вјежбе	82
5.8.5.	Питања и задаци	83
5.9.	Вјежба број 9 – Мјерење напона помоћу осцилоскопа	85
5.9.1.	Циљ вјежбе – теоријска подлога	85
5.9.2.	Шема спајања	85
5.9.3.	Попис опреме	85
5.9.4.	Начин извођења вјежбе	85
5.9.5.	Питања и задаци	86
6.	ЛИТЕРАТУРА	88

ПРЕДГОВОР

Основна намјена овог Практикума, за лабораторијске вјежбе из предмета Електрична мјерења, је да студентима друге године Електротехничког факултета Универзитета у Источном Сарајеву олакша практични рад у лабораторији на предмету Електрична мјерења. Очекује се да ће увођење практикума у наставу, олакшати извођење и разумјевање лабораторијских вјежби, повећати квалитет наставе, и унаприједити ниво знања, који студенти стичу на овом предмету. Кроз овај предмет студенти стичу разна практична знања из мјерења електричних мјерних величина. Стичена знања из овог предмета, студенти ће моћи користити и приликом лабораторијских вјежби из других предмета током студирања. Практикум садржи основне теоријске појмове везане за електрична мјерења, упутства за рад са мјерним инструментима, опис лабораторије и опис вјежби које се изводе у току наставе. Описан је и начин на који треба да се понашају студенти у лабораторији приликом извођења лабораторијских вјежби.

Захваљујемо се Лазару Глуховићу, који је помогао ауторима у техничкој припреми текста и слика за овај практикум.

Овај практикум може да садржи одређени број грешака. Моле се сви који примјете недостатке у практикуму да о томе информишу ауторе. Све евентуалне примједбе се могу послати на електронске адресе srdamjan@yahoo.com и banjanin@ymail.com.

Аутори

Источно Сарајево, 2016. године

1. УВОД

Мјерења имају значајну улогу у развоју људског друштва уопште, а у развоју науке и технике посебно. У електротехничкој науци и њеној примјени, електрична мјерења заузимају веома важно мјесто. Она помажу да се тачно и правилно схвате законитости електрицитета и његове примјене. У инжењерској пракси, мјерењем се утврђују својства електротехничког материјала, провјерава квалитет израђених производа, провјерава исправност електричних инсталација, мјерењем се добија информација о исправности и сигурности уређаја, као и о економичности његовог рада.

По својој суштини мјерење је поређење бројне вриједности једне величине са другом бројном вриједности исте величине. Под величином подразумијевамо објективну природну појаву као што су: дужина, маса, вријеме, јачина електричне струје, сила, итд.

У мјерењима се грешка не може избјећи. Резултати које добијамо нису никада апсолутно тачни, јер је сваки исказани резултат мјерења, исказан са одређеном мјерном несигурношћу. Мјерна несигурност зависи од више фактора, а углавном од знања и вјештине лица које врши мјерење, од мјерне несигурности коришћених мјерних инструмената и тачности примјењене мјерне методе. Иако се не може одредити апсолутно тачан резултат, сваком мјерном резултату се могу одредити границе, у односу на измјерену вриједност, у којима се са неком вјероватноћом очекује тачна вриједност.

Главни циљ овог практикума је да се студентима представе основни појмови о електричним мјерењима и мјерним инструментима, представи рад у лабораторији за електрична мјерења и да се да детаљан приказ и опис рада са мјерним инструментима приликом извођења лабораторијских вјежби.

2. ОПШТИ ПОЈМОВИ О ЕЛЕКТРИЧНИМ МЈЕРЕЊИМА

Мјерење је квантитативно одређивање вриједности мјерене физичке величине, поређењем са унапријед одређеном вриједношћу те исте величине, која је прихваћена као основна јединица. Једноставно речено, мјерење је процес поређења вриједности непознате величине, са величином која је узета за јединицу мјере.

Математичку представу мјерења је поставио Финкелштајн, који сматра да је мјерење поступак, којим се својству неке манифестације објекта придружују конкретни бројеви, на такав начин, да описују ту манифестацију. Концепт мјерења се последњих година мијења, највише због врло брзог развоја рачунарства и електронске технологије. Цијена рачунара и електронских компоненти се непрекидно смањује због масовне производње, минијатуризације, и напретка технолошких поступака производње. Рачунар се релативно једноставно повезује у мјерни систем примјеном одговарајућег интерфејса и аналогно-дигиталног конвертора, који електричне и не електричне аналогне величине претвара у бројне вриједности погодне за приказивање, упоређивање и даљу обраду на рачунару.

Наука која се бави методама мјерења, реализацијом и одржавањем еталона физичких величина, развојем и израдом мјерних средстава и обрадом и анализом измјерених резултата назива се метрологија.

Метрологију можемо подјелити на: законску, индустријску и научну метрологију.

Законска метрологија потиче од потребе да се осигура поштена трговина, посебно у области тегова и мјера. Законска метрологија је област метрологије, коју регулише држава законима и прописима. Она обезбјеђује: мјерно јединство у држави, развој метрологије у складу са технолошким развојем државе, повећање квалитета робе и услуга, заштиту потрошача у купопродајним односима и контролисану заштиту човјекове животне и радне средине. Законска метрологија се превасходно брине о мјерилима, која подлијежу законској контроли, а главни циљ законске метрологије је да увјери грађане у коректне резултате мјерења, када се они користе у званичним комерцијалним трансакцијама.

Индустријска метрологија омогућава да се индустријски, пољопривредни и други производи израђују у складу са државним, регионалним и међународним стандардима. Индустријска метрологија је нераздвојиво везана за стандаризацију, па самим тим и за гарантовање квалитета. С обзиром да квалитет производа представља скуп особина производа, јасно је да се оцјењивање и утврђивање квалитета у суштини постиже мјерењем. Ово укључује неопходност да се докаже сљедљивост, која постаје бар онолико значајна колико и сама мјерења.

Научна метрологија је област која обједињује развојни и научно истраживачки рад у области метрологије. Научна метрологија укључује мјерења највеће тачности и прецизности у професионалним и високософистицираним метролошким лабораторијама. Ове лабораторије се најчешће оснивају на факултетима и институтима. Оне раде на развоју нових мјерних инструмената, нових мјерних метода и начина обраде мјерних резултата. Основна релација метрологије може се исказати симболима на сљедећи начин:

$$MV = [BV] [MJ] \quad (2.1)$$

гдје су:

MV - мјерна величина, која се у тексту увијек пише италиком,
 $[BV]$ - бројна вриједност мјерне величине,
 $[MJ]$ - јединица мјере мјерне величине.

Приликом писања резултата мјерења, треба водити рачуна, да се пише једно празно мјесто између бројне вриједности и мјерне јединице.

Примјер исправног писања резултата мјерења: $U = 220 \text{ V}; I = 12 \text{ A}; f = 50 \text{ Hz}$.

Примјер погрешног писања резултата мјерења: $U = 220\text{V}; I = 12\text{A}; f = 50\text{Hz}$.

2.1. Систем мјерних јединица

Коначан скуп условно изабраних јединица мјерних величина назива се систем мјерних јединица. Како постоји велики број физичких величина, независно дефинисање сваке јединице посебно довело би до непрегледног и непогодног система за практичне примјене. Због тога је изабран систем јединица, код кога су неке јединице физичких величина условно прихваћене за основне јединице, а остале се преко одређених алгебарских релација утврђују као изведене јединице.

Развојем метрологије, захваљујући развоју технологије, усавршени су мјерни системи јединица и данас су најпознатија два: апсолутни и кохерентни систем јединица. Код апсолутног система, јединице свих величина дефинисане су искључиво преко јединица дужине, масе и времена. За кохерентни систем јединица, изведене јединице се добијају из димензионих образаца, замјењујући у њима саку димензију основном јединицом овог система.

Важећи **"Закон о мјерним јединицама Босне и Херцеговине"** донијела је Парламентарна скупштина Босне и Херцеговине и објављен је у „Службеном листу Босне и Херцеговине“, број 19/01. Овим законом одређују се мјерне јединице у Босни и Херцеговини, њихови називи и ознаке, подручја и начин примјене и обавеза употребе тих мјерних јединица ради осигурања примјене мјерног јединства у Босни и Херцеговини. Мјерне јединице су одређене на темељу међународних уговора који обавезују Босну и Херцеговину. У сваком јавном навођењу мјерних података и употреби мјерних јединица, у раду правних и физичких особа у Босни и Херцеговини, морају се употребљавати мјерне јединице одређене овим законом, по њиховим називима и ознакама.

Важећи **"Закон о метрологији у Босни и Херцеговини"** донијела је Парламентарна скупштина Босне и Херцеговине и објављен је у „Службеном листу Босне и Херцеговине“, број 19/01. Овим законом уређује се систем законске метрологије у Босни и Херцеговини, који осигурава тачна и међународно усклађена мјерења, остваривање, чување и употребу еталона и референтних материјала; употребу, испитивање, верификацију и метролошки надзор над мјерилима; примјену законске метрологије у Босни и Херцеговини; учешће Босне и Херцеговине у међународној и међудржавној сарадњи у подручју метрологије; научно-истраживачки и стручни рад у подручју метрологије.

Одредбе овог закона односе само на мјерила која се примјењују у областима:

- а) заштите здравља људи и животиња,
- б) заштите околине и техничке сигурности,
- ц) промета добара и услуга и заштите потрошача,
- д) поступка пред управним и правосудним органима.

Важећи **"Закон о метрологији у Републици Српској"** донијела је Народна скупштина Републике Српске и објављен је у „Службеном гласнику Републике Српске“, бр. 33/16. Овим законом уређују се систем законске метрологије у Републици Српској, употреба еталона и референтних материјала, стављање на тржиште и употреба мјерила, оцјењивање усаглашености мјерила са прописаним захтјевима, именовање тијела за оцјењивање усаглашености мјерила, верификација мјерила, овлашћивање тијела за верификацију мјерила, претпаковани производи, важење страних знакова и докумената, надзор, као и друга питања од значаја за метрологију.

Седам основних мјерних величина Међународног система јединица (SI), који се законски примјењује у нашој земљи, приказано је у табели 2.1.

Табела 2.1. Међународни систем јединица (SI) основне јединице

ВЕЛИЧИНА	Назив	Ознака
Дужина	Метар	m
Маса	Килограм	kg
Вријеме	Секунд	s
Јачина електричне струје	Ампер	A
Термодинамичка температура	Келвин	K
Јачина свјетлости	Кандела	cd
Количина материје	Мол	mol

Међународне дефиниције основних мјерних величина су:

1) Метар је дужина путање, коју у вакуму пређе свјетлост за вријеме од $1/299792458$ секунде.

2) Килограм је једнак маси међународног еталона килограма.

3) Секунд је трајање од 91192631770 периода зрачења, које одговара прелазу између два хиперфина нивоа основног стања атома цезијума 133.

4) Ампер је јачина једносмјерне временски константне струје, која када се одржава у два паралелна проводника неограничене дужине и занемарљиво малог попречног пресека, који се налазе у вакуму на међусобном растојању од 1 метар и производи силу, која је једнака $2 \cdot 10^{-7}$ N по метру дужине проводника.

5) Келвин је $1/273,16$ дио термодинамичке температуре тројне тачке воде.

6) Кандела је свјетлосна јачина извора, који у одређеном правцу емитије монохроматско зрачење фреквенције $540 \cdot 10^{12}$ Hz и чија је јачина у том правцу $1/683$ W постерадијану.

7) Мол је количина материје система, који садржи онолико елементарних јединки колико има атома у $0,012$ килограма угљеника C_{12} .

Поред седам основних мјерних величина у Међународном систему јединица постоје и двије допунске мјерне јединице, које су приказане у табели 2.2.

Табела 2.2. Међународни систем јединица (SI) допунске јединице

ВЕЛИЧИНА	Назив	Ознака
Угао (у равни)	радијан	rad
Просторни угао	стерадијан	sr

Међународне дефиниције допунских мјерних величина су:

1) Радијан је угао између два полупречника, који на кругу исијецају лук дужине једнаке полупречнику ($1 \text{ rad} = 1$).

2) Стерадијан је угао купе са врхом у средини кугле, који на површини кугле омеђује површину једнаку површини квадрата одређеног полупречником кугле ($1 \text{ sr} = 1$).

Изведене јединице којима се служимо у електротехници установљене су путем државних и међународних закона и оне су изведене помоћу основних јединица из Међународног система јединица, а коришћењем основних математичких операција множења, дијељења и степеновања.

У табели 2.3. су дате неке изведене мјерне јединице, које се користе у електротехници.

Табела 2.3. Изведене мјерне јединице

Физичка величина	Назив	Ознака	Исказано другим јединицама	Исказано основним јединицама
Магнетна индукција	Тесла	T	Wb / m ²	kg·s ⁻² ·A ⁻¹
Електрични напон	Волт	V	W / A	m ² ·kg·s ⁻³
Електрична отпорност	Ом	Ω	V / A	m ² ·kg ¹ ·s ⁻³ ·A ⁻²
Електрична проводност	Сименс	S	A / V	m ⁻² ·kg ⁻¹ ·s ³ ·A ²
Електрични капацитет	Фарад	F	C / V	m ⁻² ·kg ⁻¹ ·s ⁴ ·A ²
Индуктивност	Хенри	H	Wb / A = Ω · s	m ² ·kg·s ⁻² ·A ⁻²
Електрично наелектрисање	Кулон	C		s·A
Фреквенција	Херц	Hz		s ⁻¹
Снага	Ват	W	J / s	m ² ·kg·s ⁻³
Магнетни ток (флуks)	Вебер	Wb	V · s = T · m ²	m ² ·kg·s ⁻² ·A ⁻¹
Сила	Њутн	N		m·kg·s ⁻²
Притисак	Паскал	Pa	N / m ²	m ⁻¹ ·kg·s ⁻²
Енергија	Џул	J	N·m	m ² ·kg·s ⁻²
Температура	степен Целзијуса	°C		K

Закон одобрава употребу извјесног броја мјерних јединица изван SI система јединица (табели 2.4.), а које су још увијек распрострањене у примјени и имају посебан значај.

Табела 2.4. Дозвољене јединице ван SI система

Величина	Назив	Ознака	Исказано јединицама SI	Допуштена употреба само
дужина	морска миља		1 морска миља = 1852 m	у поморском и ваздушном промету
	астрономска јединица		1 астрономска јединица = $1,4959787 \cdot 10^{11}$ m	у астрономији
површина	ар хектар	a ha	1 a = 100 m ² 1 ha = 10000 m ²	за исказивање површине Земље
запремина	литар	l, L	1 l = 1 L = 10 ⁻³ m ³	запремина
угао	степен	1°	1° = ($\pi/180$) rad	
угао	угаона минута	1′	1′ = ($\pi/10800$) rad	
угао	угаона секунда	1″	1″ = ($\pi/64800$) rad	
угао	угаони гон	1 g	1 g = ($\pi/200$) rad	
маса	тона		1 t = 1000 kg	
	атомска јединица масе		1 μ = $1,66057 \cdot 10^{-27}$ kg	у физици и хемији
дужинска маса	tex		1 tex = 10 ⁻⁶ kg/m	за исказивање масе текстилног влакна и конца
маса драгог камења	метарски карат		1 метарски карат = $2 \cdot 10^{-4}$ kg	
вријеме	минута	min	1 min = 60 s	
	сат	h	1 h = 3600 s	
	дан	d	1 d = 86400 s	
брзина	чвор		1 \check{v} or = 1852/3600 m/s	у поморском, ријечном и ваздушном промету
притисак	bar	bar	1 bar = 105 Pa	
	милиметар живиног ступца	mmHg	1 mmHg = 133,322 Pa	за одређивање притиска крви у здравству
снага	voltamper	VA	1 VA = 1 W	за одређивање привидне електричне снаге
	var	var	1 var = 1 W	за одређивање реактивне (јалове) електричне енергије
преламање оптичких система	dioptriја		1 dioptriја = 1 m ⁻¹	у здравству и физици

2.2. Децималне мјерне јединице

Децималне мјерне јединице су децимални дијелови или децимални умношци мјерних јединица. Образују се додавањем међународно усвојених предмета испред ознака мјерних јединица. Дијелови и умношци јединица омогућавају да се кохерентне јединице SI система практичније примјењују у свим областима науке и технике, као и у свакодневном животу. Називи предмета, њихове ознаке и бројне вриједности приказане су у табели 2.5.

Табела 2.5. Децималне мјерне јединице

Префикс	Симбол	Вриједност
јота	Y	10^{24}
зета	Z	10^{21}
екса	E	10^{18}
пета	P	10^{15}
тера	T	10^{12}
гига	G	10^9
мега	M	10^6
кило	k	10^3
хекта	h	10^2
дека	da	10^1
деци	d	10^{-1}
центи	c	10^{-2}
мили	m	10^{-3}
микро	μ	10^{-6}
нано	n	10^{-9}
пико	p	10^{-12}
фемто	f	10^{-15}
ато	a	10^{-18}
зепто	z	10^{-21}
јокто	y	10^{-24}

2.3. Еталони електричних величина

Најједноставнији начин мјерења је упоређивање мјерене вриједности са тачно познатом вриједношћу исте величине. Мјерна средства која максимално тачно представљају одређену вриједност посматране величине називају се еталони.

Еталони се обично дијеле на:

- 1) међународне еталоне,
- 2) националне еталоне
- 3) секундарне еталоне,
- 4) радне еталоне.

Под међународним еталоном се подразумјева мјерно средство, које има највиша метролошка својства у датој области науке. Међународни еталон се никада не употребљава директно за мјерење, већ се користи за поређења са националним еталонима.

Национални еталон је мјерно средство, које има највиша метролошка својства у земљи за дату област науке. Његове метролошке карактеристике се периодично пореде са

међународим еталоном. Он се користи у земљи, како би се са њим поредили секундарни еталони у националној лабораторији и секундарни еталони акредитованих лабораторија.

Секундарни еталон је еталон, чија је вриједност утврђена поређењем са националним еталоном.

Радни еталон је онај еталон, који је еталониран поређењем са секундарним еталоном, а намјењен је за еталонирање мјерних инструмената у акредитованим лабораторијама или лабораторијама унутар фирме.

2.4. Врсте мјерења

По начину добијања резултата разликујемо:

- 1) директна мјерења,
- 2) индиректна мјерења и
- 3) комбинована мјерења.

Мјерење, којим се непосредно мјери величина од интереса, се назива директним мјерењем.

Индиректним мјерењем се назива мјерење, које се врши у некој другој величини, а не у оној која нас интересује, а која се са величином од интереса налази у неком познатом односу.

Комбинована мјерења су таква мјерења код којих се тражени резултат добија из резултата неколико група директних или индиректних мјерења посебних величина. Функционална зависност добијених мјерних резултата и величине која нас интересује изражава се помоћу експлицитних формула.

2.5. Грешке код мјерења

Разлику између резултата добијеног мјерењем и стварне вриједности мјерене величине називамо грешком резултата мјерења.

У техничкој спецификацији мјерног инструмента, које издаје произвођач мјерног инструмента, обавезно се даје највећа допуштена грешка мјерног инструмента. Овим произвођач гарантује, да ће се сва мјерења кориштењем датог мјерног инструмента обављати са грешком, која је мања или једнака декларисаној.

Једначином (2.2) је дефинисана апсолутна грешка (ΔX) резултата мјерења.

$$\Delta X = IV - TV \quad (2.2)$$

У једначини (2.2) IV представља вриједност добијену мјерењем (измјерена вриједност), док TV представља тачну вриједност (добијену генерисањем или мјерењем са еталоном). Вриједност апсолутне грешке није довољна да би се оцијенила тачност извршеног мјерења (није свеједно да ли је грешка од 1 m направљена приликом мјерења растојања у некој просторији, или приликом мјерења растојања између тачака у свемиру). Због тога се уводи појам релативна грешка (δ_r) резултата мјерења, која представља однос апсолутне грешке и тачне вриједности мјерене величине, израз (2.3).

$$\delta_r = \frac{IV - TV}{TV} = \frac{\Delta X}{TV} \quad (2.3)$$

Употреба релативне умјесто апсолутне грешке за оцјењивање тачности неког мјерења је погодна, јер даје адекватан увид утицаја направљене грешке, приликом вршења мјерења на резултат мјерења.

Појам процентуална релативна грешка ($\delta_r[\%]$) резултата мјерења, представља бројну вриједност апсолутне грешке помножене са 100%, израз (2.4).

$$\delta_r[\%] = \frac{IV - TV}{TV} \cdot 100\% = \frac{\Delta X}{TV} \cdot 100\% \quad (2.4)$$

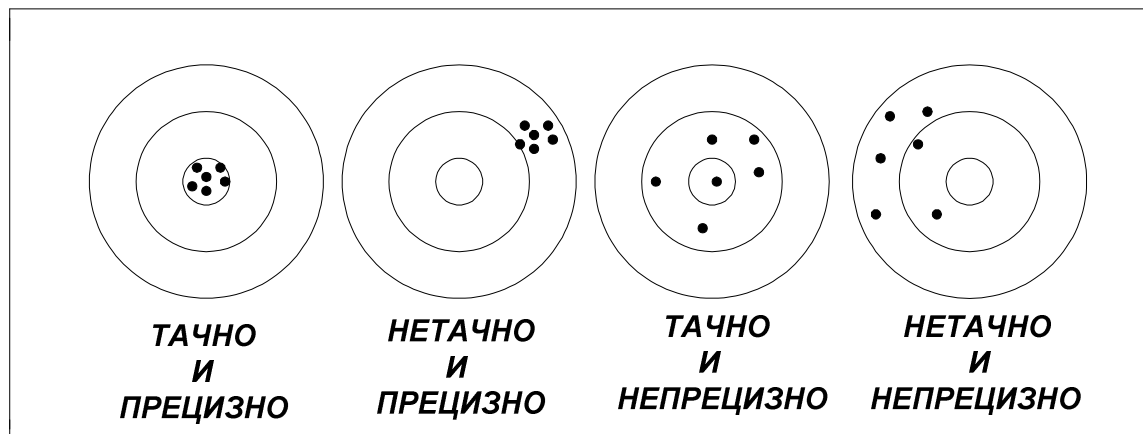
Процентуална релативна грешка се најчешће користи код поређења резултата еталонирања.

Појмови тачност и прецизност мјерења се често користе у метрологији. Да би се избјегле забуне око њихове употребе, као и произвољно тумачење истих, потребно је дефинисати ове изразе.

Тачност представља способност инструмента да показује вриједност блиску правој (тачној) вриједности. Тачност мјерења може да се изрази апсолутном или релативном грешком.

Под прецизношћу мјерења подразумјева се степен међусобног подударања (односно расипања), између вриједности добијених вишеструким понављањем мјерења исте величине. Прецизност се на најбољи начин описује стандардном девијацијом резултата мјерења. Велика прецизност ипак није гаранција да се ради о великој тачности мјерења.

Графичко објашњење тачности и прецизности мјерења је дато на слици 2.1.



Слика 2.1. Графички приказ тачности и прецизности

Изражавајући математичке грешке мјерења као апсолутне и релативне, није се улазило у разлоге њиховог настанка. Проучавања у овој области показују да се према изворима и могућностима отклањања, грешке могу сврстати у сљедеће групе:

- 1) грубе грешке,
- 2) систематске грешке и
- 3) случајне грешке.

Грубе грешке настају услед непажње, непознавања основних закона метрологије, неисправности или ненамјенског коришћења мјерне опреме и слично. Типични примјери грубих грешака су читавања на погрешној скали код инструмента са више скала, погрешан избор мјерног опсега и врсте струје која се мјери (једносмјерна или наизмјенична), погрешно записивање резултата мјерења и погрешно рачунање грешке мјерења итд. Најчешћи узрок грубих грешака је људски фактор. Све утврђене грубе грешке се одбацују.

Систематске грешке су условљене факторима, који константно или по одређеним законитостима дјелују на добијени резултат, односно увећавају апсолутну грешку. Примјери систематских грешака су читавање под косим углом, неподешена нула, сопствена потрошња инструмента, дјеловање магнетног поља Земље и слично. Анализом мјерних услова се скоро увијек може наћи узрок ових грешака, па самим тим се кроз поступак корекције може отклонити и њихов утицај на добијене резултате мјерења.

Случајне грешке су резултат сталног дјеловања великог броја промјенљивих, појединачно посматрано небитних фактора, које у пракси није могуће разграничити, квантификовати и кориговати. Ови фактори доводе до тога да су свака два узастопна резултата мјерења међусобно различита. Примјери оваквих утицаја у случају употребе амперметра су промјена контактних отпора стезаљки мјерног уређаја са промјеном силе стезања, температурна зависност отпора проводника и стезаљки мјерног уређаја, несавршености мјерних уређаја које није могуће компензовати, сметње услед околних електромагнетних зрачења, вибрација и слично.

На примјеру еталонирања волтметра еталоном од 100 V (TV) илустроване су све три поменуте врсте грешака. Извршено је шест мјерења, а добијени су и записани сљедећи резултати: 100,3 V; 100,1 V; 100,3 V; 100,5 V; 100,5 V и 100,8 V.

Измјерена вриједност од 1005 V је очигледно груба грешка, вјероватно настала као резултат погрешног записивања. Резултат мјерења за који се утврди да је груба грешка, се одбацује од осталих мјерења. Средња вриједност осталих пет мјерења (рачуна се по формули 2.10) израчуната је изразом 2.5:

$$IV_{SR} = \frac{100,3 + 100,1 + 100,3 + 100,5 + 100,8}{5} = 100,4 \text{ V} \quad (2.5)$$

Добијена средња вриједност указује на постојање системске апсолутне грешке мјерења:

$$\Delta X = IV_{SR} - TV = 0,4 \text{ V}$$

Приликом даљег мјерења са овим волтметром, сваки мјерни резултат је потребно кориговати за негативну вриједност апсолутне грешке мјерења ΔX , односно у нашем случају -0,4 V, како би се избјегла утврђена систематска грешка при мјерењу.

Расипање резултата мјерења око средње вриједности у износу од -0,3 V и +0,4 V, је посљедица случајних грешака. Стандардна девијација резултата мјерења (рачуна се по формули 2.11) представља мјеру расипања резултата и за ових 5 мјерења износи 0,265 V. Из приказаних резултата мјерења, се не може утврдити узрок настанка случајних грешака.

2.6. Класа тачности

Класа тачности (енг. *accuracy*) представља способност мјерног инструмента да одржава грешку мјерења у одређеним границама, у дефинисаном временском периоду (дан, мјесец, три мјесеца, пола године, година или више година). Класа тачности мјерног инструмента се одређује приликом израде мјерног инструмента, а периодично се провјерава и коригује за вријеме његовог коришћења. Класе тачности мјерних инструмената се обично дефинишу у зависности од:

- мјерног опсега,
- читања и
- задњег дигита.

Класа тачности у зависности од мјерног опсега (енг. *range*) се дефинише једначином:

$$KT_{Mo} = \frac{\Delta X_{\max}}{Mo} \quad (2.6)$$

гдје је:

ΔX_{\max} - највећа допуштена апсолутна грешка,

Mo - максимална вриједност на скали аналогног инструмента или пуни мјерни опсег дигиталног инструмента.

Класа тачности у зависности од мјерног опсега се најчешће користи, код исказивања класе тачности аналогних мјерних инструмената. Према важећим прописима аналогни мјерни инструменти се сврставају у слједеће класе тачности: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 и 5.

Класа тачности од читања (енг. *reading*) се дефинише једначином:

$$KT_{oc} = \frac{\Delta X_{\max}}{IV} \quad (2.7)$$

гдје је:

ΔX_{\max} - највећа допуштена апсолутна грешка,

IV - измјерена вриједност на инструменту (аналогном или дигиталном).

Класа тачности у зависности од задњег дигита (енг. *digit*) KT_d се дефинише само за дигиталне мјерне инструменте. Дефинише се као број, који се односи на задњу цифру (најмању вриједност) дигиталног инструмента, односно његову резолуцију. Показује колико је за тај мјери инструмент дозвољено да се мијења задња цифра на мјерном инструменту. Ова грешка најчешће износи 1 или 2 дигита, али код неких мјерача отпорности ова грешка може бити декларисана и као 100 дигита.

На основу класе тачности мјерног инструмента, која се даје у његовој техничкој документацији, потребно је одредити границу дозвољене грешке (GDG). Граница дозвољене грешке представља бројну вриједност, од које мора бити мања апсолутна грешка сваког мјерења у цијелом мјерном опсегу, када се ради еталонирање инструмента.

Граница дозвољене грешке за аналогне мјерне инструменте се рачуна према изразу (2.8) и зависи само од класе тачности инструмента и мјерног опсега.

$$GDG = GDG_{op} = KT_{Mo} \frac{Mo}{100} \quad (2.8)$$

Укупна граница дозвољене грешке за дигиталне мјерне инструменте (GDG) се рачуна, као збир границе дозвољене грешке опсега (GDG_{op}), границе дозвољене грешке читања (GDG_{oc}) и границе дозвољене грешке задњег дигита (GDG_d) према изразу (2.9).

$$GDG = GDG_{op} + GDG_{oc} + GDG_d = KT_{Mo} \frac{Mo}{100} + KT_{oc} \frac{IV}{100} + KT_d \bullet rezolucija \quad (2.9)$$

гдје је:

Mo - максимална вриједност на скали аналогног инструмента или пуни мјерни опсег дигиталног инструмента,

IV - измјерена вриједност на еталонском инструменту,

rezolucija - резолуција (вриједност задњег дигита) дигиталног инструмента који се еталонира.

Примјер 2.1.

Аналогни волтметар класе тачности 0,5 има мјерни опсег од 0 V до 150 V. Врши се његово еталонирање са еталонским калибратором у три мјерне тачке: 30 V, 60 V и 120 V. За ове три вриједности постављене на калибратору, на инструменту који се еталонира, измјерене су следеће три вриједности: 30,3 V, 60,6 V и 120,8 V. Провјерити да ли инструмент задовољава декларисану класу тачности у све три мјерне тачке.

Рад:

$$GDG = GDG_{OP} = KT_{Mo} \frac{Mo}{100} = 0,5 \cdot \frac{150V}{100} = 0,75 V$$

Укупна граница дозвољене грешке за еталонирани волтметар је 0,75 V, па инструмент задовољава декларисану класу тачности у двије мјерне тачке 30 V и 60 V. Инструмент не задовољава декларисану класу тачности у једној мјерној тачки 120 V, у којој је апсолутна грешка од 0,8 V већа од границе дозвољене грешке 0,75 V.

Примјер 2.2.

Дигитални волтметар има мјерни опсег од 0 V до 150 V, а његова резолуција (задњи дигит) је 10 mV. За њега је декларисана класа тачности: 0,2% од мјерног опсега, 0,4% од читања и ± 3 дигита. Врши се његово еталонирање са еталонским калибратором у три мјерне тачке: 30 V, 60 V и 120 V. За ове три вриједности постављене на калибратору, на инструменту који се еталонира измјерене су следеће три вриједности: 30,3 V, 60,6 V и 120,8 V. Провјерити да ли инструмент задовољава декларисану класу тачности у све три мјерне тачке.

Рад:

$$GDG_{OP} = KT_{Mo} \frac{Mo}{100} = 0,2 \cdot \frac{150V}{100} = 0,3 V \quad - \text{ за све три измјерене вриједности}$$

$$GDG_d = KT_d \cdot 0,01V = 3 \cdot 0,01 V = 0,03 V \quad - \text{ за све три измјерене вриједности}$$

$$GDG_{OC1} = KT_{OC} \frac{IV1}{100} = 0,4 \cdot \frac{30V}{100} = 0,12 V$$

$$GDG_{OC2} = KT_{OC} \frac{IV2}{100} = 0,4 \cdot \frac{60V}{100} = 0,24 V$$

$$GDG_{OC3} = KT_{OC} \frac{IV3}{100} = 0,4 \cdot \frac{120V}{100} = 0,48 V$$

$$GDG1 = GDG_{OP} + GDG_{OC1} + GDG_d = 0,3 V + 0,12 V + 0,03V = 0,45 V$$

$$GDG2 = GDG_{OP} + GDG_{OC2} + GDG_d = 0,3 V + 0,24 V + 0,03V = 0,57 V$$

$$GDG3 = GDG_{OP} + GDG_{OC3} + GDG_d = 0,3 V + 0,48 V + 0,03V = 0,81 V$$

Граница дозвољене грешке која потиче од мјерног опсега и задњег дигита је иста за све три мјерне тачке, али је граница дозвољене грешке која потиче од читања, различита за сваку измјерену вриједност. Укупна граница дозвољене грешке за волтметар, који се

еталонира, сада је различита за сваку мјерну тачку ($GDG1$, $GDG2$ и $GDG3$). Инструмент задовољава декларисану класу тачности у двије мјерне тачке 30 V и 120 V. Инструмент не задовољава декларисану класу тачности у једној мјерној тачки 60 V, у којој је апсолутна грешка од 0,6 V, већа од дозвољене границе дозвољене грешке, која за ову мјерну тачку износи $GDG2 = 0,57$ V.

2.7. Мјерна несигурност

Ријеч "несигурност" изражава сумњу, а "мјерна несигурност", односно "несигурност мјерења" изражава сумњу у валидност резултата мјерења. Резултат мјерења је вриједност добијена мјерењем, која се приписује мјерној величини. Потпуно исказивање резултата мјерења треба обухватити и информацију о мјерној несигурности. Несигурност резултата мјерења је последица недостатака егзактног познавања вриједности која се мјери. Резултат мјерења последице кориговања за препознате систематске ефекте је и даље само процјена мјерене вриједности због:

- несигурности која потиче од случајних ефеката и
- несавршености корекције за систематске ефекте.

Поступак мјерења је сложен процес и обухвата низ елемената, као што су информације о еталону и мјерицу, методи мјерења, корекцијама на дејство одређених утицајних величина, несигурности са којом је добијен резултат и слично. Резултат сваког реалног мјерења садржи у себи одређену несигурност, што значи да се идеално тачна вриједност мјерене величине не може сазнати. Узроци мјерних несигурности могу бити веома бројни и по правилу се не могу сви узети у обзир.

Мјерна несигурност изражава интервал у коме се налази права вриједност физичке величине, која се мјери и може се процијенити или експериментално одредити уз одређене услове, који ограничавају њену вриједност. Једноставније речено, мјерна несигурност је параметар, придружен резултату мјерења, који карактерише расипање вриједности, које се оправдано могу приписати мјереној величини. Усвојено је да се мјерна несигурност означава словом u , (енг. *uncertainty* - несигурност). Основни принцип је да се сваком податку о несигурности придружи одговарајућа функција расподеле као и вјероватноћа, односно статистичка сигурност.

Стандардна мјерна несигурност, u , по дефиницији једнака је стандардном одступању од средње вриједности $u = s_{x_s}$. Стандардно одступање од средње вриједности s_{x_s} рачуна се према формули 2.12. Резултат више поновљених мјерења представља средњу вриједност x_s , која се рачуна према формули 2.10. Стандардно одступање појединачних мјерних резултата се рачуна по формули 2.11.

$$x_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.10)$$

$$u_A = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_s)^2}{n-1}} \quad (2.11)$$

$$u_{Ax_s} = s_{x_s} = \frac{u_A}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_s)^2}{n(n-1)}} \quad (2.12)$$

Статистичка сигурност која одговара стандардној мјерној несигурности зависи од расподеле, која се приписује датом мјерењу. На примјер у случају Гаусове (нормалне) расподеле мјерних резултата, интервалу ширине једног стандардног одступања, $x_s \pm s$, одговара сигурност од 68,2 %, а интервалу ширине два стандардна одступања, $x_s \pm 2s$, одговара сигурност од 95,4 %.

Проширена мјерна несигурност, U , представља умножак стандардне мјерне несигурности и **коэффицијента проширења**, k , тј.

$$U = k \cdot u \quad (2.13)$$

Коэффицијент k може имати вриједност у интервалу од $\sqrt{3}$ до 3, зависно од расподеле. Проширеној мјерној несигурности одговара висока вриједност статистичке сигурности. То значи да се мјерена величина са великом сигурношћу налази у интервалу

$$x_s \pm U \quad (2.14)$$

У случајевима када се резултатима мјерења може приписати Гаусова расподела и стандардна несигурност придружена излазној процјени је довољно поуздана, треба користити стандардни коэффициент проширења $k = 2$. Приписаној проширеној несигурности одговара вриједност статистичке сигурности од приближно 95%. Услови за Гаусову расподелу су испуњени у већини случајева, који се срећу при пословима еталонирања. Претпоставка Гаусове расподеле се не може увијек експериментално једноставно потврдити. Међутим, у случајевима када се неколико компоненти несигурности (на примјер $N \geq 3$), изведених из вјероватноће расподеле независних величина које се добро понашају (нпр. Гаусове или правоугаоне расподеле), доприносе стандардној несигурности у упоредивим износима. Онда се на основу Централне граничне теореме може веома приближно претпоставити да је расподела излазне величине Гаусова. За преостале случајеве тј. све случајеве у којима се не може прихватити претпоставка Гаусове расподеле, морају се примијенити подаци о стварној вјероватноћи расподеле, ради добијања вриједности коэффициента проширења k , који одговара нивоу статистичке сигурности од приближно 95%.

Након извршеног мјерења акредитоване метролошке лабораторије издају сертификат о еталонирању или испитивању. У сертификатима о еталонирању или испитивању мора се дати комплетан резултат мјерења састављен од процјене мјерне величине x_s и придружене проширене мјерне несигурности U (тј. као $x_s \pm U$). Уз то треба дати напомену са објашњењем која треба да садржи коэффициент проширења k , функцију расподеле измјерених вриједности и вриједност статистичке сигурности. Да би једнозначно и поуздано идентификовао резултате мјерења сертификат о еталонирању потребно је да садржи и:

- Назив, тип, серијски број и произвођача мјерила које се еталонира.
- Мјерну методу, односно одређени пропис према коме је урађено еталонирање.
- Навести изјаву да је резултат еталонирања слједљив до међународног еталона или националног еталона. Могу се навести и метролошке карактеристике еталона, који је кориштен и број његовог увјерења.
- Услове околине у току мјерења.
- Датум обављеног еталонирања.
- Потпис лица које је извршило мјерење, као и потпис његовог руководиоца.

Бројчана вриједност мјерне несигурности треба бити дата са највише два значајна броја, при чему се користи метод заокруживања реалних бројева.

У суштини разликујемо 3 типа процјене мјерне несигурности, а то су:

- 1) мјерна несигурност тип А,
- 2) мјерна несигурност тип Б и
- 3) комбинована мјерна несигурност.

2.7.1. Стандардна мјерна несигурност тип А

Стандардна мјерна несигурност тип А одређује се искључиво методом статистичке обраде резултата. Из овог слиједи да мјерна несигурност тип А постоји, само ако се ради о мјерењу, које је поновљено више пута. Постоје два подтипа процјене улазне величине x тип А и то као:

- експериментално стандардно одступање средње вриједности и
- комбинована процјена.

Експериментално стандардно одступање средње вриједности се рачуна, када се ради о поновљеним мјерењима и када се стандардно одступање средње вриједности узима као стандардна несигурност тип А. Ако су резултати поновљених мјерења представљени узорком $x_1, x_2, \dots, x_i, x_n$, помоћу (2.10) може се изачунати средња вриједност \bar{x} која, по правилу представља крајњу вриједност мјерења.

Стандардна несигурност појединих елемената једнака је стандардном одступању појединих резултата, што је дато изразом (2.11).

Средња вриједност \bar{x} која представља резултат мјерења, има своје стандардно одступање $s_{\bar{x}}$, које се зове стандардно одступање средње вриједности. Стандардно одступање средње вриједности представља стандардну несигурност тип А, мјерног резултата, што је дато изразом (2.12).

Мјерна несигурност тип А се одређује, када се располаже са низом од n међусобно различитих резултата поновљених мјерења. Ако је број n довољно велик, средња вриједност и њено стандардно одступање испуњава услове Централне граничне теореме, што значи да јој се по правилу придружује Гаусова распоdjела (независно од распоdjеле којој припадају елементи узорка). При томе распоdjела полазних резултата не мора бити Гаусова.

2.7.2. Стандардна мјерна несигурност тип Б

Стандардна мјерна несигурност тип Б се означава са u_B и односи се на компоненте несигурности, које настају због очекиваних догађаја, тј. очекиване вјероватноће појављивања (нпр. несигурност при читавању вриједности са инструмента, несигурност пасивних елемената при мјерењима, несигурност услед старења електронских компоненти). Ове несигурности одговарају систематским грешкама у класичној терминологији и треба их покушати што више смањити. Стандардне несигурности тип Б се одређују другачијим поступцима од статистичке анализе резултата добијених понављањем мјерења. Ове несигурности се одређују појединачном анализом резултата мјерења, и оне не зависе од броја поновљених мјерења. Мјерној несигурности тип Б се могу додијелити различите врсте распоdjеле (Гаусова, правоугаона, троугаона, студентова или нека друга).

Један од најважнијих извора података за одређивање мјерне несигурности тип Б су каталози и приручници, које произвођачи дају уз мјерни инструмент. Обично су дати

подаци о несигурности мјерења у зависности од мјерног опсега, периода и интензитета експлоатације, промјена напона напајања и промјена вриједностима параметара околине, а то је најчешће температура и релативна влажност.

2.7.3. Комбинована мјерна несигурност

Комбинована мјерна несигурност се означава са u_c и користи се у сљедећим случајевима:

- 1) код поновљених мјерења код којих су одређене мјерне несигурности тип А и тип Б,
- 2) код мјерења која су извршена само једном, при чему не постоји мјерна несигурност тип А, али на крајњи резултат утичу несигурности бар две или више утицајних величина.

Комбинована мјерна несигурност, у случају некорелисаних величина, је дата сљедећим изразом:

$$u_c = \sqrt{c_1^2 \cdot u_1^2 + \dots + c_i^2 \cdot u_i^2 + \dots + c_n^2 \cdot u_n^2} \quad (2.15)$$

При томе су $u_1, u_2, \dots, u_i, u_n$ компоненте мјерне несигурности изражене као стандардна мјерна несигурност, а $c_1, c_2, \dots, c_i, c_n$ коефицијенти осјетљивости. Двије величине су некорелисане, тј. статистички независне, када промјене једне од њих не изазивају предвидљиве промјене друге величине.

2.8. Функције расподеле

Свако мјерење са собом уноси несигурност добијених резултата, тј. постоји одступање измјерене величине у односу на тачну вриједност. Задатак статистичке обраде резултата је процјена праве вриједности мјерене величине и процјена мјерне несигурности коригованог резултата мјерења.

При обради резултата мјерења примјењује се неколико врста расподеле. У овом практикуму размотрићемо само сљедеће расподеле:

- 1) Гаусову или нормалну,
- 2) Правоугаону или униформну,
- 3) Троугаону.

2.8.1. Гаусова (нормална) расподела

Експериментално искуство показује, да се при понављању неког мјерења, резултати групишу око средње вриједности. На бази експерименталног искуства и теоријских разматрања Гаус (Karl Friedrich Gauss, 1777-1855) је почетком XIX вијека извео расподелу, којом се успјешно приказују резултати мјерења праћени случајним грешкама. Та расподела је названа нормална или Гаусова расподела.

Испитивање је показало да се грешке померавају нормалном закону расподеле вјероватноће када испушавају сљедеће услове:

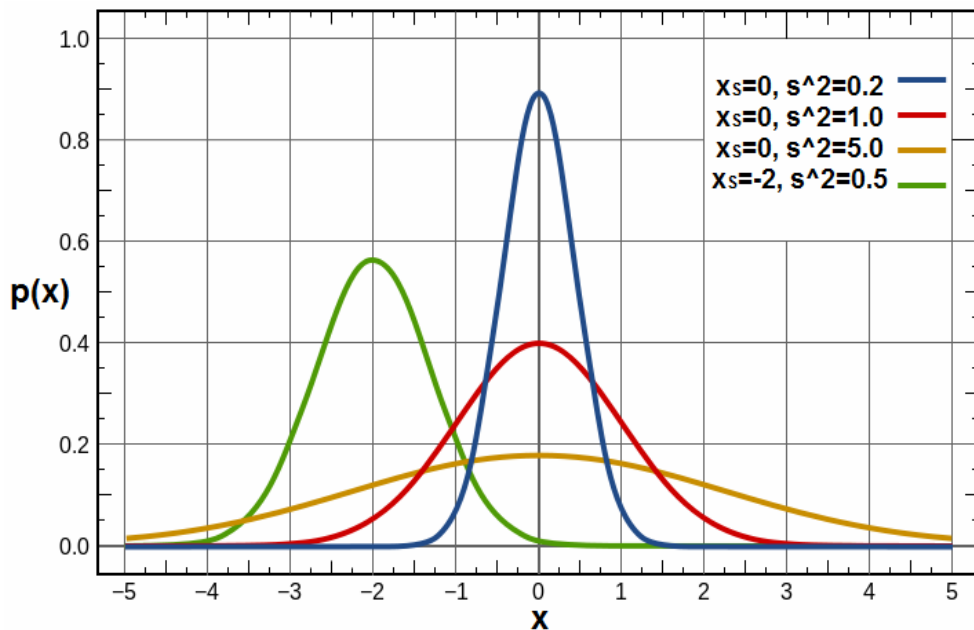
- 1) случајне грешке су међусобно независни догађаји,
- 2) вјероватноћа појављивања мањих грешака већа је од вјероватноће појављивања већих грешака,
- 3) вјероватноћа појављивања једнаких вриједности, а супротног знака је једнака.

Гаусова функција густине расподеле вјероватноће је дефинисана изразом (2.16):

$$f(x, x_s, s) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-x_s)^2}{2s^2}} \quad (2.16)$$

гдје су: x_s - очекивана или средња вриједност мјерења,
 s - стандардно одступање резултата мјерења.

Графички приказ Гаусове функција густине расподеле вјероватноће дат је на слици 2.2. Параметри Гаусове расподеле су средња вриједност x_s и стандардно одступање s . Око средње вриједности подједнако вјероватно су распоређена позитивна и негативна одступања. У опсегу (средња вриједност \pm стандардно одступање, тј. $x_s \pm s$) налази се око 68% резултата. Ово се може исказати и другим ријечима: статистичкој сигурности од 68% одговара интервал резултата ($x_s - s, x_s + s$). Важи и сљедеће правило: сваки појединачни резултат има вјероватноћу од 68% да се нађе у интервалу ($x_s - s, x_s + s$). На сличан начин се показује да у интервалу $x_s \pm 2s$ одговара статистичка сигурност од 95,4%. У опсегу $x_s \pm 3s$ налази се 99,7% резултата тј. у том интервалу се налазе практично сви мјерни резултати. Интервал $x_s \pm 3s$ се назива и максимална грешка. Ако је у неком мјерењу познато стандардно одступање s , онда се резултати са грешком већом од $\pm 3s$ обично одбацују, јер највјероватније потичу од неке грубе грешке.

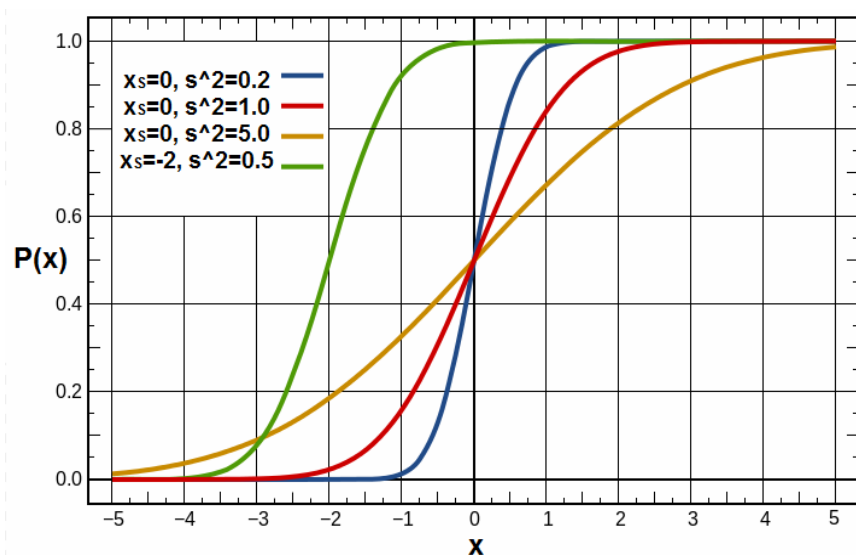


Слика 2.2. Гаусова функција густине расподеле вјероватноће

Вјероватноћа појаве вриједности резултата мјерења X , се добија када се Гаусова функција густине расподеле вјероватноће интегрални на интервалу од $-\infty$ до X , као што је приказано у изразу (2.17):

$$F(x, x_s, s) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-x_s)^2}{2s^2}} dx \quad (2.17)$$

Гаусова функција расподеле вјероватноће је приказана на слици 2.3. Са графика на слици 2.3 се за сваку вриједност мјерене величине x може очитати вјероватноћа њеног појављивања. Што је вриједност стандардног одступања σ мања, то је тачност мјерења већа.

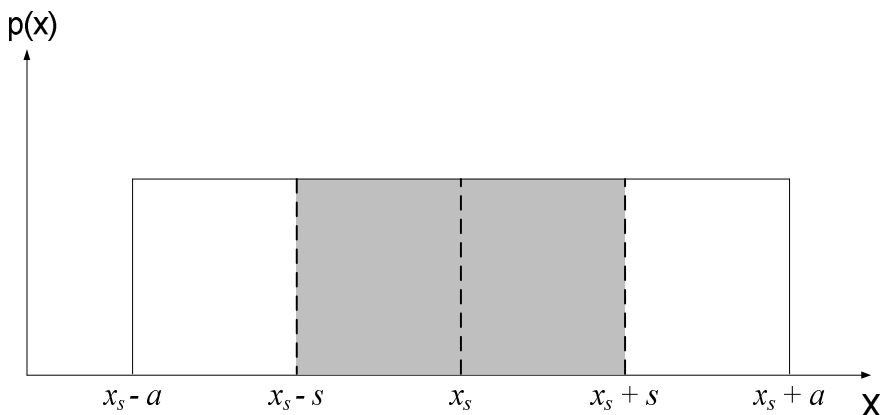


Слика 2.3. Гаусова функција расподеле вјероватноће

2.8.2. Правоугаона (униформна) расподела

Дијаграм симетричне правоугаоне расподеле приказан је на слици 2.4. Расподела је одређена средњом вредношћу x_s и полуширином интервала a . Све вриједности случајне промјениве x налазе се у опсегу $(x_s - a, x_s + a)$, при чему је свака вриједност унутар опсега подједнако вјероватна. Правоугаона расподела испуњава услов нормираности, што значи да површина испод криве расподеле $p(x)$ износи 1. Стандардно одступање за правоугаону расподелу се рачуна као:

$$s = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (2.18)$$



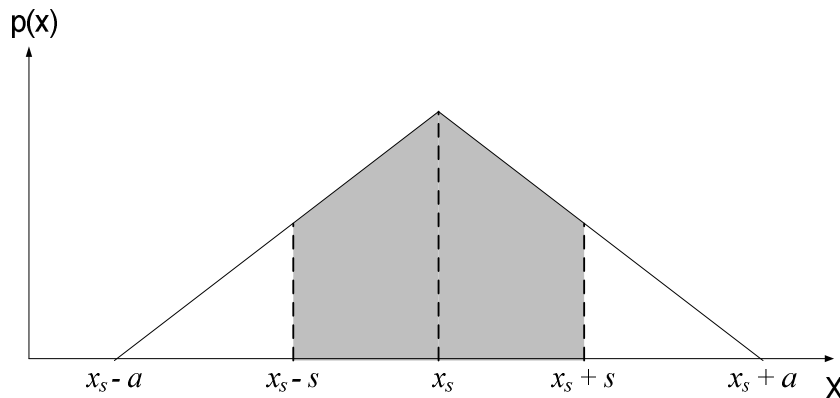
Слика 2.4. Правоугаона расподела.

У опсегу (средња вриједност \pm стандардно одступање) налази се око 57% резултата. Правоугаона расподела се најчешће примјењује када се располаже са мало информација о неком инструменту.

На примјер, из каталога произвођача се прочита податак да инструмент има класу тачности од $\pm 1,5\%$ максималне вриједности U_m . Ако не постоји искуство или друго сазнање о евентуалном груписању резултата око средње вриједности, може се претпоставити да резултати при некој вриједности мјерене величине имају униформну расподелу са полуширином $a = 0,015 \cdot U_m$.

2.8.3. Троугаона расподела

Дијаграм симетричне троугаоне функције расподеле приказана је на слици 2.5. Троугаона и правоугаона расподела имају заједничку особину да им је интервал у којем се налазе резултати ограничен. Са слике 2.5 се види да се сви резултати налазе у ограниченom интервалу полуширине a , симетрично распоређени око средње вриједности x_s . Основна карактеристика троугаоне расподеле је сконцентрисаност резултата око средње вриједности. То значи да су мања одступања резултата од средње вриједности вјероватнија од већих одступања. Троугаона расподела испуњава услов нормираности, што значи да површина испод криве расподеле $p(x)$ износи 1.



Слика 2.5. Троугаона расподела

Стандардно одступање за троугаону расподелу се рачуна као:

$$s = \frac{a}{\sqrt{6}} \quad (2.19)$$

У опсегу (средња вриједност \pm стандардно одступање) налази се око 65% резултата. Поредићи ову вриједност са статистичком сигурношћу интервала $x_s \pm s$ код правоугаоне расподеле (57%) види се да троугаона расподела, услед сконцентрисаности, има већу сигурност. Гаусова или нормална расподела има бољу сконцентрисаност од обје претходно поменуте расподеле јер се у интервалу $x_s \pm s$ налази 68% резултата.

Троугаона расподела се примјењује у случају, када се из искуства зна да постоји јасно груписање резултата мјерења око средње вриједности. При томе услови централне граничне теореме нису потпуно задовољени, што значи да расподела највјероватније није и Гаусова.

2.8.4. Утицај избора расподеле на изражавање мјерне несигурности

Ради лакшег поређења Гаусове, правоугаоне и троугаоне расподеле у табели 2.6. су дате статистичке сигурности и коефицијенти проширења k , када се резултати мјерења налазе груписани око средње вриједности у одређеним интервалима. Из табеле 2.6. се лако може уочити да правоугаона расподела има најмању, а Гаусова расподела највећу статистичку сигурност у интервалу $x_s \pm s$.

Табела 2.6. Упорјеђивање три функције расподеле

Расподјела	Интервал резултата мјерења	Статистичка сигурност	Коефицијент проширења k
Правоугаона	$x_s \pm s$	57,7%	1,73
Троугаона	$x_s \pm s$	65,0%	2,45
Гаусова	$x_s \pm s$	68,2%	1
	$x_s \pm 2s$	95,4%	2
	$x_s \pm 3s$	99,7%	3

2.9. Представљање резултата мјерења

Обично се при рутинским мјерењима резултати представљају на тај начин да само посљедња децимална цифра може да буде за јединицу мања или већа. Тако нпр. мјерни резултат написан у облику 220,213 V, биће са апсолутном грешком не већом од $\pm 0,001$ V. Првих пет цифри су сигурне цифре, а посљедња је несигурна цифра. Ако је посљедња цифра нула поступа се на исти начин. Ако је измјерена вриједност 5,0 A, то значи да апсолутна грешка није већа од $\pm 0,1$ A.

Ако се број завршава са више нула, што је случај када се представља приближна вриједност неке величине, онда се користи такво приказивање тог броја да се сигурне цифре и прва несигурна цифра множе са десет на неки степен. Тако, нпр. ако је број становника неког града 380000, гдје је прва цифра сигурна, а друга несигурна, онда то може да се напише у облику $38 \cdot 10^4$ или $3,8 \cdot 10^5$. То значи да се број становника тог града налази између 375000 и 385000, а можемо бити несигурни у 5000 становника.

При обради мјерних резултата се може догодити, да се добије већи број цифара у односу на тражени број цифара. У том случају обавезно треба заокружити резултат на вриједност одређену бројем, који има исти број сигурних цифара као и мјерна величина и највише једну несигурну цифру. Приликом заокруживања неког броја на два децимална мјеста поступа се на следећи начин:

- Када иза посљедње цифре која хоће да се заокружи дође цифра мања од пет, онда се посљедња цифра не мијења, као нпр.
 $25,234 \rightarrow 25,23$
 $25,231 \rightarrow 25,23$
- Када иза посљедње цифре која хоће да се заокружи дође цифра већа од пет, онда се посљедња цифра повећава за јединицу, као нпр.
 $325,236 \rightarrow 325,24$
 $325,239 \rightarrow 325,24$
- Када иза посљедње цифре која хоће да се заокружи дође цифра пет и иза ње још нека цифра већа од нуле, онда се посљедња цифра повећава за јединицу, као нпр.
 $1,2050001 \rightarrow 1,21$

- 4) Када иза последње цифре која треба да се заокружи дође само цифра пет, онда се заокружује увијек на ближу парну цифру, као нпр.
- 1,205 → 1,20
 1,215 → 1,22
 1,225 → 1,22
 1,235 → 1,24

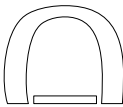
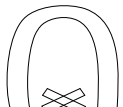
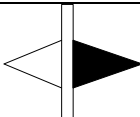
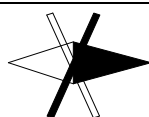
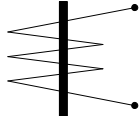
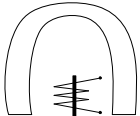
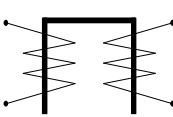
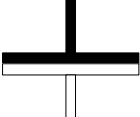
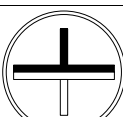
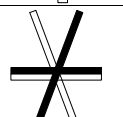

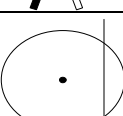
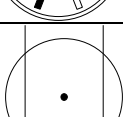
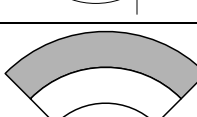
2.10. Символи аналогних електричних мјерних инструмената

Мјерење електричних величина представља сложен и веома стручан посао, а инструменти који служе овом циљу су многобројни и разноврсни. Карактеристичне особине мјерних инструмената су:

- 1) електрична величина која се мјери,
- 2) врста струје или напона,
- 3) класа тачности,
- 4) принцип дјеловања.

У табели 2.7. су приказане неке карактеристичне ознаке на аналогним електричним мјерним инструментима.

Табела 2.7. Символи и карактеристичне ознаке на електричним мјерним инструментима

Врста инструмента	Симбол	Врста инструмента	Симбол
Инструмент са сталним магнетом и покретним калемом		Логометар (квоцијентметар) са кретним калемом	
Инструмент са кретним магнетом		Логометар (квоцијентметар) са кретним магнетом	
Инструмент са кретним гвожђем		Инструмент са поларизованим гвожђем	
Логометар (квоцијентметар) са кретним гвожђем		Електродинамички инструмент	
Феродинамички инструмент		Електродинамички логометар (квоцијентметар)	
Феродинамички логометар (квоцијентметар)		Индукциони инструмент	
Индукциони логометар (квоцијентметар)		Биметални инструмент	

Врста инструмента	Симбол	Врста инструмента	Симбол
Електростатички инструмент		Вибрациони инструмент	
Неизоловани термопар		Изоловани термопар	
Инструмент са помичним намотајем и уграђеним термопретварачем		Инструмент са помичним намотајем и вањским изолованим термопретварачем	
Исправљач		Прикључак за уземљење	
Инструмент за једносмјерну струју		Инструмент за наизмјеничну струју	
Инструмент за једносмјерну и наизмјеничну струју		Трофазни мјерни систем	
Инструмент за употребу скале у вертикалном положају		Инструмент за употребу скале у хоризонталном положају	
Инструмент за употребу скале у косом положају (нпр. 60°)		Ознака класе тачности инструмента (нпр. 1.5), ако је грешка изражена у постоцима максималне вриједности мјерног опсега	1.5
Ознака класе тачности инструмента (нпр. 1.5), када се договорена вриједност слаже са укупном дужином скале		Ознака класе тачности инструмента (нпр. 1.5), када се договорена вриједност слаже са показаном вриједношћу	
Испитни напон 500 V		Испитни напон изнад 500 V (нпр. 2 kV)	

3. ОСНОВНА УПУТСТВА И НАПОМЕНЕ ЗА РАД У ЛАБОРАТОРИЈИ

У овом поглављу су дате хигијенско-техничке и противпожарне мјере заштите, којих се требају придржавати професори, асистенти и студенти током рада у лабораторији. Затим су описане опште напомене за извођење практичних лабораторијских вјежби као и процес израде извјештаја. На крају поглавља је описано како пружити прву помоћ у случају удара електричне струје, јер студенти раде са напонима и струјама, које могу бити опасне по живот.

3.1. Хигијенско-техничке и противпожарне мјере заштите у лабораторији

Сви учесници у настави дужни су да се придржавају следећих хигијенско-техничких мјера при раду у лабораторији:

- 1) Улаз студената у лабораторију дозвољен је само по одобрењу асистента.
- 2) У лабораторију се не смије улазити са прљавом или мокром одјећом и обућом.
- 3) За вријеме теоретске наставе забрањено је дирање, помјерање и укључивање макета, уређаја и мјерне опреме.
- 4) У лабораторији није дозвољено пушење, уношење отвореног пламена или лако запаљивих материја, уношење и конзумирање хране или пића.
- 5) Из лабораторије није дозвољено изношење лабораторијске опреме или наставних средстава.
- 6) У случају квара на опреми студентима је забрањено да врше било какве поправке без присуства и одобрења асистента.
- 7) По завршетку наставе мора се искључити напон на свим мјерним столовима.
- 8) Рад са опремом у лабораторији је дозвољен само групама од најмање два студента, или већим због пружања прве помоћи уколико дође до струјног удара.
- 9) Ако у току рада у лабораторији дође до нестанка електричне енергије, све мјерне столове треба искључити до поновног повратка напона.
- 10) Студентима је забрањен рад на макетама и мјерној опреми за коју нису обучени.
- 11) При раду не треба рукама додиривати неизоловане проводнике и дијелове инструмената под напоном, јер струја интензитета 20 mA односно напон од 50 V могу бити смртоносни за човјека.
- 12) Замјена елемената у шеми се смије вршити једино, када су сви извори напајања на мјерном столу искључени.
- 13) У току рада треба пажљиво руковати са инструментима, а при помјерању постављати их без потреса. Приликом укључивања инструмената у електрично коло строго водити рачуна о правилном скретању казаљке, односно о поларитету мјерних прикључака, као и врсти мјерне електричне величине, код инструмената који мјере двије или више величина. Инструменте постављати на одговарајући мјерни опсег. Ако није познат ред вриједности мјерне величине, на инструментима изабрати највећи мјерни опсег, а затим у раду постепено смањивати мјерни опсег, све док се не подеси одговарајући мјерни опсег. На инструменту није дозвољено изабрати мјерни опсег, на коме је вриједност која се мјери већа од изабраног мјерног опсега, јер то може да доведе до трајног оштећења инструмента.
- 14) У случају струјног удара, унесрећеном пружити прву помоћ на следећи начин. Искључити главни прекидач на мјерном столу, односно прекинути струјно коло. Изолованим предметом одвојити извор струје од тијела унесрећеног. Позвати хитну медицинску помоћ на телефон 124. Раскопчати одјећу унесрећеног, отворити прозоре, давати му вјештачко дисање, масирати предно око срца, а када дође до свијести дати му освјежавајући напитек.

- 15) У случају пожара у лабораторији, искључити напон на свим мјерним столовима у лабораторији, позвати ватрогасну јединицу, приступити локализацији и гашењу пожара са противпожарним апаратима из лабораторије.
- 16) По завршетку наставе, макете, средства, мјерну опрему, алат и остали прибор уредно сложити, по потреби и очистити. Обавезно искључити све изворе енергије, а склопке-преклопнике на радним столовима ставити у положај искључено.
- 17) Студенти су обавезни да се у свему придржавају и осталих упутстава, којима се регулише рад у лабораторијама факултета и понашање у току наставног и ваннаставног процеса.
- 18) Прије почетка извођења вјежби сви студенти су дужни да се упознају са свим тачкама овог поглавља (поглавље 3. са потпоглављима 3.1., 3.2. и 3.3.) и да то својим потписом потврде. Документ о томе се чува код асистента.

3.2. Опште напомене за извођење лабораторијских вјежби и израду извјештаја

У овом дијелу су описна основна правила, којих се потребно придржавати приликом рада у лабораторији, за вријеме извођења практичних лабораторијских вјежби. Придржавањем ових правила треба да доведе до спријечавања настанка материјалне штете на мјерној и помоћној опреми, али и да се спријече евентуалне повреде људи. На крају овог дијела је описан процес израде извјештаја за лабораторијске вјежбе.

- 1) У току рада у лабораторији и извођења лабораторијских вјежби, потребно се стриктно придржавати мјера хигијенско-техничке заштите наведених у претходном поглављу.
- 2) Прије доласка на час потребно је пажљиво прочитати упутства за извођење конкретне вјежбе, урадити све потребне прорачуне и припремити се за извођење вјежбе. Прорачуне радити у свесци, у којој се раде аудиторне вјежбе из предмета Електрична мјерења. У свесци нацртати све потребне табеле, у које ће се касније уносити резултати мјерења.
- 3) Ради бржег и квалитетнијег извођења вјежбе, неопходно је придржавати се сљедећег редослиједа операција:
 - 3.1) Елементе електричног кола, потребне за извођење вјежбе, распоредити на столу тако да, визуелно, приближно одговарају датој шеми.
 - 3.2) Спајање електричног кола почети од извора електричне струје и строго се придржавати дате шеме.
 - 3.3) Након извршеног спајања провјерити самостално да ли је све спојено коректно, у складу са шемом. Провјерити да ли сви спојеви имају добар контакт.
 - 3.4) Провјерити да ли су преклопке за избор мјерне величине и мјерног опсега на мјерним инструментима исправно постављене. Мјерни опсег прво поставити на највећу вриједност, а касније, током извођења вјежбе, постепено смањивати мјерни опсег, све док се не подеси одговарајући мјерни опсег. Код аналогних мјерних инструмената најтачније мјерење имамо када је казаљка у посљедњој трећини скале. Код дигиталних мјерних инструмената најчешће декларисана класа тачности вриједи за вриједности од 10% до 100% мјерног опсега.
 - 3.5) Провјерити да ли казаљке свих аналогних инструмената показују нулу, те уколико је могуће, извршити корекцију помоћу корекционог завртња.
 - 3.6) Позвати асистента да провјери исправност спојене шеме и након његовог одобрења извршити укључење извора напајања електричне енергије.

- 3.7) Извор једносмјерне струје прикључити преко његовог кабла на утичницу напона 220 V, 50 Hz на мјерном столу. Да би утичнице на столу биле под напоном, потребно је укључити главну склопку-преклопник на столу.
- 3.8) Укључити изворе и њихове напоне подесити према задатим вриједностима у конкретној вјежби.
- 3.9) Извршити потребна читавања инструмената, односно вјежбу извести у цјелини, како је наведено у упутству за конкретну вјежбу.
- 3.10) Мјерни инструменти морају бити положени на столу, онако како је на њима назначено (хоризонталном или вертикалном положају), јер је само у том положају показивање инструмента коректно.
- 3.11) Након завршетка вјежбе, вратити напоне свих извора на нулу и искључити исте, а затим искључити главну склопку на мјерном столу. Послије тога одспојити изворе, одспојити све елементе електричног кола и уредно их одложити на радни сто, односно на мјесто гдје су се налазили прије почетка извођења конкретне вјежбе.
- 3.12) Проводнике за спајање треба уредно сложити, али их не треба савијати у колутове и слично, јер се на тај начин могу прекинути или оштетити.
- 3.13) Лабораторију у цјелини оставити у стању у каквом је затечена, како би била спремна за даљи рад.
- 3.14) На вјежбама се оцјењује: теоретско знање теме која се обрађује, рад на вјежби (активно или пасивно учешће у извођењу вјежбе), исправност спајања шеме, исправност добијених резултата.
- 4) Студенти који лабораторијску вјежбу не ураде у предвиђеном временском периоду, биће враћени на надокнаду исте уз урачунат изостанак на тој вјежби, иако су исту похађали.
- 5) Завршна фаза вјежбе је израда извјештаја о изведеној вјежби:
 - 5.1) Након сваке одржане вјежбе студент мора да напише извјештај о похађаној вјежби.
 - 5.2) Примјер прве стране извјештаја се налази на крају практикума, прије поглавља Литература.
 - 5.3) Извјештаји се искључиво пишу руком и плавом хемијском оловком, изузев насловне стране. У супротном, извјештаји неће бити прихваћени и санкционисаће се у складу са правилом из тачке 5.8). Извјештаје није могуће писати на рачунару нити црном хемијском оловком.
 - 5.4) Извјештаји се пишу самостално, заједнички извјештаји за више студената или идентични извјештаји код појединих студената неће бити прихваћени и санкционисаће се у складу са правилом из тачке 5.8).
 - 5.5) Извјештај се ради према захтјевима из упутства за сваку вјежбу и треба садржавати циљ вјежбе, теоријску подлогу вјежбе, електричну шему, списак кориштене опреме, начин извођења вјежбе, резултате мјерења (у табеларној и/или графичкој форми), одговоре на сва питања из припреме вјежбе и закључак.
 - 5.6) Графичка форма мјерних резултата се изводи на милиметарском папиру.
 - 5.7) Извјештај се предаје предметном асистенту на првом сљедећем часу лабораторијских вјежби.
 - 5.8) Студенти који касне са предајом извјештаја могу добити максимално 50% предвиђених поена за ту вјежбу.
- 6) Студенти су дужни да се придржавају овог Правилника јер ће у супротном сами сносити материјалну и сваку другу одговорност за посљедице настале непоштовањем истог.

3.3. Пружање прве помоћи у случају удара електричне струје

Приликом пружања прве помоћи лицима унесрећеним од удара електричне струје најважнија је брзина дјеловања. То значи да настрадао лице треба што брже одвојити од елемената под напоном, а затим не губећи ниједан тренутак времена почети са вјештачким дисањем, уколико настрадао лице не дише.

Одвајање настрадалог лица од елемената под напоном треба извршити прекидањем струјног кола. Међутим, при томе треба водити рачуна да и сам спасилац не дође под удар електричне струје. Стога се користе приручна изолациона средства.

Уколико спасилац, из било ког разлога, није у могућности да прекине довод струје на описане начине, спасилац треба, користећи комад суве одјеће, да прихвати унесрећеног и да га вучењем одвоји од дјелова под напоном. У исто вријеме мора да обрати пажњу, да унесрећени при томе не падне и да се тако још више повриједи.

Ако настрадао лице не дише мора се одмах почети са вјештачким дисањем. Најпогодније је вјештачко дисање извести на сљедећи начин:

- 1) Унесрећеног треба положити на леђа, при чему му руке треба поставити испод главе. Између зуба му треба ставити неки тврд предмет. Спасилац заузима положај изнад главе унесрећеног и своје руке ставља на плећа унесрећеног.
- 2) Када је заузео потребан положај, спасилац се лагано нагиње, без савијања руку у лактовима, преносећи своју тежину на унесрећеног. Цио овај покрет треба да траје око 2 секунде.
- 3) Спасилац се потом постепено нагиње уназад, а његови дланови при томе клизе по надлактицама унесрећеног све до лактова. Руке унесрећеног се, даљим нагињањем уназад, полако подижу све док се не осјети отпор и напрезање у његовим раменима. Дизање руку унесрећеног, такође, треба да траје око 2 секунде.
- 4) Сљедећа операција је спуштање руку унесрећеног. Комплетан овај циклус се понавља без прекидања.

Вјештачко дисање се примјењује непрекидно све док се не успостави природно дисање, а спасиоци се по потреби смјењују. Док је настрадао лице у несвјести не смију му се давати ни течности нити било какви лијекови. Тек када се унесрећени освијести може му се дати кашиком чај или кафа, али да остане у лежећем положају. У случају других повреда прва помоћ се пружа на начин, који је предвиђен за такве случајеве. У свим случајевима страдања од електричне струје обавезно треба позвати љекара, односно тражити медицинску помоћ.

4. ОПИС ЛАБОРАТОРИЈЕ ЗА ЕЛЕКТРИЧНА МЈЕРЕЊА

Лабораторија за електрична мјерења (слика 4.1.) се налази на другом спрату Електротехничког факултета у Источном Сарајеву. У лабораторији је дозвољено вршити мјерења само уз присуство професора или предметног асистента.



Слика 4.1. Лабораторија за електрична мјерења

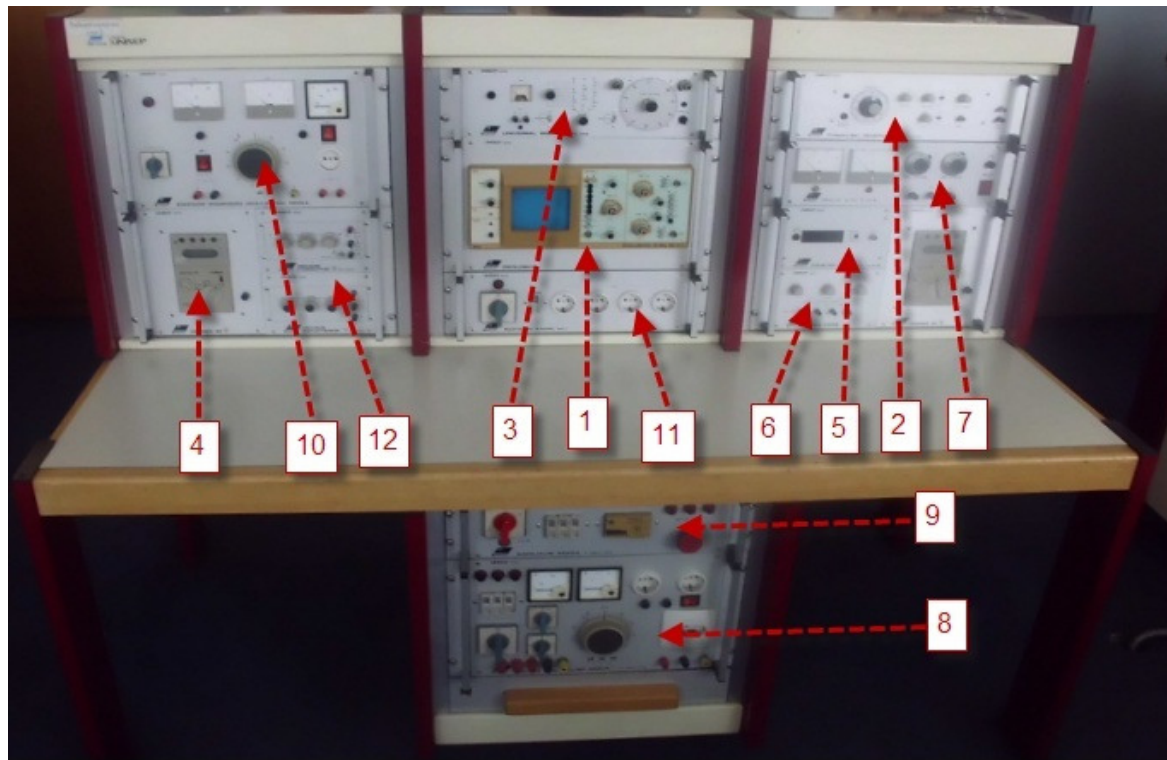
На улазу у лабораторију, са десне стране, се налази разводни ормар преко кога се управља напајањем лабораторије. На њему се налазе прекидачи за укључење и искључење свих 10 радних столова, 3 волтметра за мјерење фазних напона и 3 амперметра за мјерење фазних струја. На слици 4.2. је приказана слика разводног ормара лабораторије.



Слика 4.2. Разводни ормар у лабораторији за електрична мјерења

4.1. Опис радних столова

У лабораторији се налази 10 радних столова. За сваким радним столом мјерења врше најмање 2, а максимално 3 студента. На слици 4.3. је приказан један радни сто са ознакама основних елемената, који се налазе на радном столу. У лабораторији се могу наћи три врсте радних столова, који се незнатно разликују, па је с тога дат опис само једне врсте стола. Дати опис се може примијенити и на друге двије врсте столова, само је распоред појединих уређаја другачији.



Слика 4.3. Лабораторијски сто за извођење вјежби

На слици 4.3. која приказује радни сто, бројевима су означени поједини уређаји, извори и инструменти који се налазе на столу и бројеви имају следеће значење:

- 1) Осцилоскоп 20 MHz, тип: МА4070 - Користи се за мјерење амплитуде и фреквенције DC/AC сигнала и снимање таласног облика напона и струја.
- 2) Генератор функција, тип: МА3733 - Представља извор наизмјеничног напона различитих таласних облика и различитих фреквенција.
- 3) Универзални мјерни мост, тип: МА4303 - Користи се за мјерење отпорности, индуктивности и капацитивности.
- 4) Дигитални мултиметар, тип: Digimer 30 - Дигитални универзални мјерни инструмент који се користи за мјерење напона струје и отпорности.
- 5) Фреквенцметар/Бројач, тип: МА3861 – Користи се за мјерење фреквенције код наизмјеничних сигнала (1 Hz до 50 MHz) и бројање електричних импулса.
- 6) Отпорна декада - Користи се за генерисање активне електричне отпорности са више мјерних опсега.
- 7) Једносмјерни исправљач, тип: RLU 01-30/10 - Користи се као извор једносмјерног напона у опсегу (0 до 30) V и струје у опсегу (0 до 10) A. Одвојено се може регулисати вриједност напона, а одвојено се регулише вриједност струје.

- 8) Трофазни регулациони модул, $3 \times 0-430 \text{ VAC} / 10 \text{ A}$ - Користи се за генерисање трофазног регулисаног наизмјеничног напона (0 до 430) V, фреквенције 50 Hz и максималне струје 10 A.
- 9) Напојна јединица $3 \times 380 \text{ V} / 25 \text{ A}$ - Представља извор фиксног трофазног наизмјеничног напона ефективне вриједности 380 V, фреквенције 50 Hz и максималне струје 25 A.
- 10) Једнофазни/једносмјерни регулациони модул - Представља извор наизмјеничног напона промјњиве амплитуде и извор једносмјерног напона који се од наизмјеничног напона добија преко исправљача.
- 11) Разводни канал 220 V~ - Скуп четири једнофазне утичнице на које се могу прикључивати уређаји наизмјеничне струје називног напона 220 V.
- 12) Индуктивна и капацитивна декада, тип: МА2705 - Користи се за генерисање и регулацију индуктивности и капацитивности.

4.2. Опис мјерне опреме

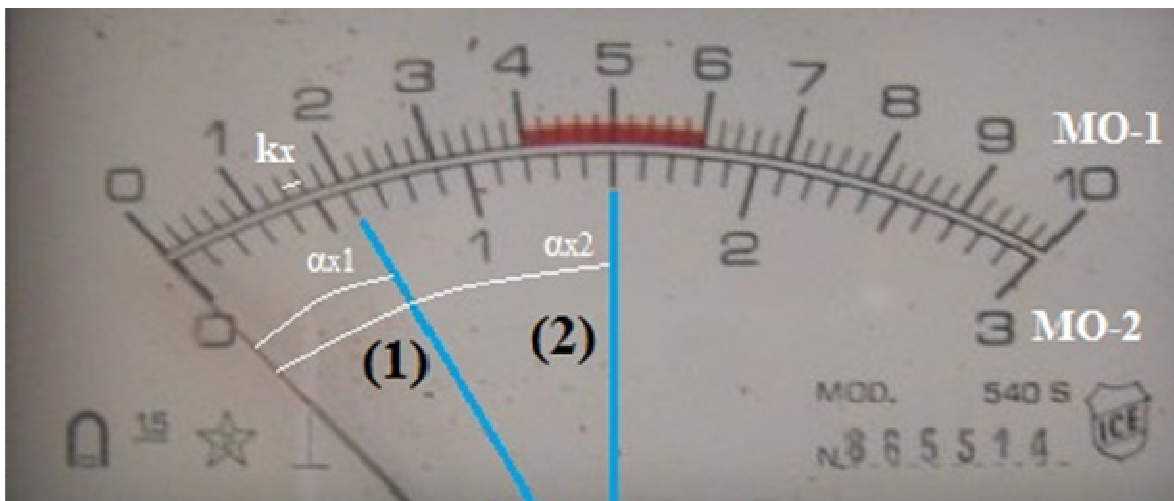
У овом поглављу је описан поступак мјерења са аналогним мјерним инструментима, а затим су представљени волтметри, амперметри, осцилоскоп, генератор функција и RLC мјерни мост, који се користе у лабораторији за Електрична мјерења.

Упутство за читавање вриједности мјерене величине са скале аналогног мјерног инструмента

Прилико читања аналогних мјерних инструмената треба водити рачуна да се не врши читање под углом, већ да поглед треба бити увијек окомит на казаљку инструмента. На слици 4.7. је приказан примјер читавања вриједности мјерене величине са скале аналогног мјерног инструмента.

Поступак читавања вриједности мјерене величине са скале аналогног инструмента је веома једноставан, у случају када подешени мјерни опсег инструмента одговара скали са које се врши читавање (мјерни опсег је једнак крајњој бројној вриједности скале). Тада се директно читава вриједност, на којој се налази казаљка.

Нешто компликованији случај наступа, када изабрани мјерни опсег не одговара скали са које се врши читавање и тада је потребно радити додатни прорачун.



Слика 4.7. Аналогни мјерни инструмент

Вриједност мјерене величине се у оба два случаја рачуна на основу наредног израза:

$$V_{mv} = \alpha_x \cdot k_x \quad (4.1)$$

гдје су: α_x - отклон казаљке (број подиока на мјерној скали),

k_x - вриједност једног подиока на мјерној скали.

Вриједност једног подиока се дефинише помоћу следећег израза:

$$k_x = \frac{MO}{\alpha_{xi}} \quad (4.2)$$

гдје су: MO - подешени мјерни опсег,

α_{xi} - укупан број подиока на мјерној скали.

При читавању мјерних резултата са слике 4.7. посматрајмо прво горњу скалу (0 до 10). Постоји десет дужих подиока, који су означени бројевима од 0 до 10. Између свака два дужа подиока налази се по четири краћа подиока, који нису означени бројевима. Укупан број подиока на горњој скали износи 50 ($\alpha_{xi} = 50$).

Примјер 4.1.

За случај (1) са слике 4.7., ако је подешени мјерни опсег МО-1 (10 V), онда вриједност једног подиока износи:

$$k_x^{(1.1)} = \frac{10}{50} = 0.2 \text{ V/pod} \quad (4.3)$$

Број подиока на мјерној скали који одговара отклону казаљке износи $\alpha_{x1} = 10$. Вриједност мјерене величине износи:

$$V_{mv}^{(1.1)} = \alpha_{x1} \cdot k_x^{(1.1)} = 10 \cdot 0.2 = 2 \text{ V} \quad (4.4)$$

Уколико је подешени мјерни опсег МО-2 (3 V), вриједност мјерене величине неће бити иста. Вриједност једног подиока износи:

$$k_x^{(1.2)} = \frac{3}{50} = 0.06 \text{ V/pod} \quad (4.5)$$

Одговарајућа вриједност мјерене величине износи:

$$V_{mv}^{(1.2)} = \alpha_{x1} \cdot k_x^{(1.2)} = 10 \cdot 0.06 = 0.6 \text{ V} \quad (4.6)$$

Примјер 4.2.

За случај (2) са слике 4.7., ако је подешени мјерни опсег МО-1 (10 V), вриједност једног подиока је идентична као у првом случају мјерења: $k_x^{(1.1)} = k_x^{(2.1)} = 0.2 \text{ V/pod}$. Број подиока на мјерној скали који одговара отклону казаљке износи $\alpha_{x2} = 25$. Вриједност мјерене величине износи:

$$V_{mv}^{(2.1)} = \alpha_{x2} \cdot k_x^{(2.1)} = 25 \cdot 0.2 = 5 \text{ V} \quad (4.7)$$

Уколико је подешени мјерни опсег МО-2 (3 V), вриједност мјерене величине се мијења. Нова вриједност једног подиока износи: $k_x^{(2.2)} = k_x^{(1.2)} = 0.06 \text{ V/pod}$. Као што је примјетно вриједност је идентична као у (1.5). Одговарајућа вриједност мјерене величине износи:

$$V_{mv}^{(2.2)} = \alpha_{x2} \cdot k_x^{(2.2)} = 25 \cdot 0.06 = 1.5 \text{ V} \quad (4.8)$$

Познавање поступка читавања мјерене вриједности са скале аналогног мјерног инструмента при различито подешеним мјерним опсезима је веома важно, јер неки аналогни инструменти имају само једну мјерну скалу уз више мјерних опсега.

4.2.1. Волтметри

Волтметар је инструмент за мерење једносмјерног или наизмјеничног електричног напона између двије тачке у електричном колу. Волтметар се увијек повезује паралелно са компонентом електричног кола, на којој се врши мјерење напона. Дозвољено је повезивање волтметра и без додатног отпора у колу, јер волтметар има врло велику вриједност унутрашњег отпора. У погледу начина обраде и приказа резултата мерења, постоји уобичајена подјела на аналогне и дигиталне волтметре. Аналогни волтметри вриједност напона приказују помјерањем казаљке инструмента при чему се прије мјерења мора одабрати одговарајући опсег мјерења.

На слици 4.4. су приказана два типа аналогних волтметара са покретним калемом, који се користе у лабораторији за електрична мјерења.



Слика 4.4. Аналогни волтметри

По принципу рада аналогне волтметре можемо подијелити на:

- 1) Инструменти са покретним калемом. Ово је најчешћи тип аналогних волтметара.
- 2) Инструменти са меким покретним жељезом. Код њих струја пролази кроз фиксну завојницу (калем), а казаљка је причвршћена за комад меканог гвожђа, које се помјера према завојници под утицајем магнетског поља, које струја ствара око завојнице.
- 3) Електродинамички инструменти. Они умјесто перманентног магнета имају електромагнет, а иначе су слични претходним.

Дигитални волтметри су обично реализовани у склопу мултиметра намјењених за мјерење различитих електричних величина. Мултиметар је електрични инструмент, који у себи обједињује инструмент за мјерење двије или више електричних мјерних величина (најчешће напона, струје и отпорности). Међутим постоје мултиметри, који служе и за мјерење фреквенције, капацитивности, температуре, испитивање напона диода, а могу да имају и неке додатне функције.

На слици 4.5. су приказана два дигитална мултиметра, који се користе у лабораторији за Електрична мјерења.



Слика 4.5. Дигитални мултиметри

Код дигиталног мултиметра Digimer 30 за мјерење отпора и напона користе се прикључци COM и V, а за мјерење струје COM и mA. За мјерење струје веће од 2000 mA користи се прикључци COM и 10 A.

Уколико унапријед није позната вриједност мјерне величине, увијек се мјерење започиње тако што се подеси највећи мјерни опсег. Уколико је потребно, мјерни опсег се смањује док се не добије оптимални приказ мјерене величине. За аналогне инструменте оптимално мјерење се добије, када казаљка има отклон у задњој трећини скале. Код дигиталних мјерних инструмената оптимално мјерење се добије за вриједности, које су у опсегу од 10% до 90% пуног мјерног опсега. Ако се мјери величина на граници мјерног опсега, тада треба одабрати први већи мјерни опсег, а потом провјерити да ли је инструмент у могућности да очита вриједност на мањем опсегу. Ако није могуће мјерити на мањем мјерном опсегу, потребно се вратити на већи мјерни опсег. При промјени мјерне величине, која се мјери мултиметром (прелазак са мјерења напона на мјерење струје или отпорности), обавезно је потребно искључити мјерни инструмент и одспојити прикључне каблове. Након избора нове мјерне величине, потребно је поново спојити прикључне каблове на одговарајуће прикључке.

4.2.2. Амперметри

Амперметар је електрични мјерни инструмент, намијењен за мјерење јачине електричне струје у амперима или изведеним јединицама (μA , mA, kA) кроз елементе електричног кола. Могу се по принципу рада подијелити на аналогне и дигиталне.

Амперметар се увијек повезује серијски у електрично коло у коме се врши мјерење. Амперметар има малу унутрашњу отпорност. Стога, није дозвољено повезивање амперметра директно на напонски извор без додатног отпора (потрошача) у колу, јер долази до кратког споја у колу и уништења инструмента.



Слика 4.6. Аналогни и дигитални амперметри

На слици 4.6. су приказани неки аналогни и дигитални амперметри, који се користе у лабораторији за Електрична мјерења, приликом извођења лабораторијских вјежби.

Принципи кориштења уређаја су идентични, као код кориштења других инструмената и наведени су у претходном поглављу.

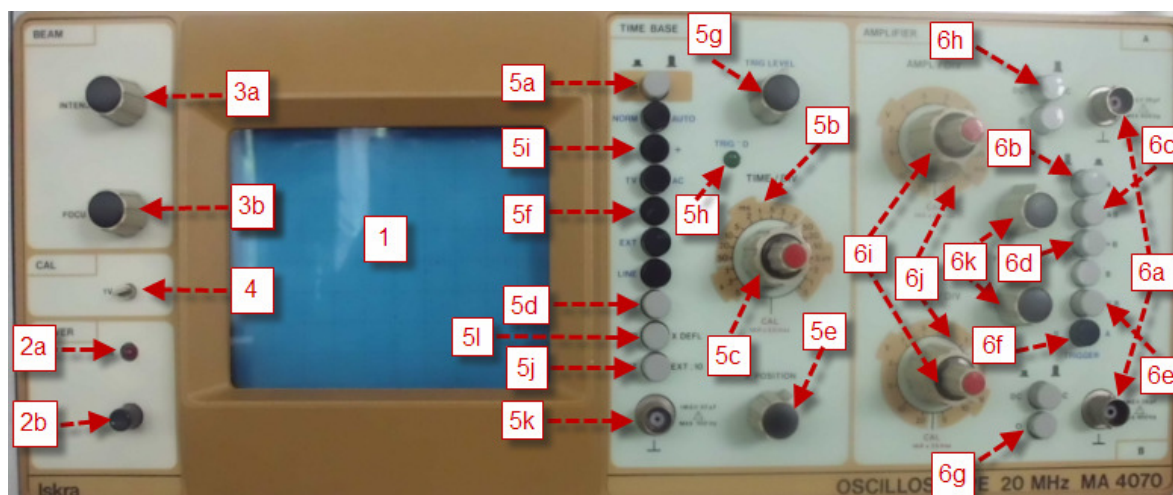
4.2.3. Осцилоскоп

Осцилоскоп је електронски мјерни уређај, помоћу кога се може директно мјерити једносмјерни и наизмјенични напон, период, фреквенција и фазни став између напона и струја. Може се користити за регистровање изобличења сигнала, времена успостављања и времена опадања напона и струје, пропади напона и пренапони итд. Осцилоскоп омогућава визуелни приказ таласног облика сигнала и различитих карактеристичних параметара електричних величина. Једна од најбитнијих карактеристика осцилоскопа је његов фреквентни опсег. Фреквентни опсег осцилоскопа се одређује на основу максималне фреквенције сигнала, коју осцилоскоп може да мјери. Према принципу рада постоје осцилоскопи са катодном цијеви (старије изведбе) и дигитални осцилоскопи (новије изведбе).

Може се рећи да је осцилоскоп брзи ХУ регистратор, код кога се на Х осу доводи вријеме (или нека друга величина), а на У осу посматрана величина. Број сигнала који се могу истовремено прикључити на осцилоскоп зависи од броја његових улазних канала. Постоје једноканални и вишеканални осцилоскопи.

Савремени осцилоскопи имају све карактеристике, које се траже од једног електронског инструмента: велика улазна отпорност, мала улазна капацитивност, широко фреквентно подручје и велика осјетљивост.

У лабораторији за електрична мјерења се користи двоканални осцилоскоп типа МА4070 произвођача Iskra, и он је уграђен у лабораторијски сто. Овај осцилоскоп је приказан на слици 4.8.



Слика 4.8. Осцилоскоп МА4070

Основни дијелови осцилоскопа МА4070 су: катодна цијев, вертикални појачавач, хоризонтални појачавач, генератор временске базе, склоп за синхронизацију и извори напајања.

Катодна цијев је вакуумирани стаклени балон са више електрода и системом отклонских плоча. Ту се електронски млаз: ствара, фокусира, подешава се његов интензитет, скреће по X и Y оси и његова кинетичка енергија претвара у свјетлост, која се види на екрану.

Вертикални појачавач омогућава прилагођавање сигнала различитих амплитуда вертикалном отклонском систему (Y - оса), да би се на екрану добила што јаснија вјерна слика улазног сигнала. Вертикални појачавач осцилоскопа МА4070 има избор опсега појачања од 5 mV/cm до 20 V/cm, на фреквентном подручју (0 до 20) MHz, а омогућава сабирање и одузимање сигнала.

Временска база је генератор линеарног тестерастог напона, који се доводи на хоризонтални отклонски систем (X - оса), ради развлачења електронског млаза по екрану. Аналогна је времену код стандардних функција. Брзина временске базе осцилоскопа МА4070 је од 1,25 s/cm до 50 ns/cm.

Склоп за синхронизацију обезбјеђује да слика на екрану осцилоскопа буде мирна (а ако нема синхронизације мјерног сигнала на осцилоскопу, тада се добија кретање сигнала од десне ка лијевој или од лијевој ка десној ивици екрана). Да би се постигла синхронизација сигнала на осцилоскопу, однос периода тестерастог и посматраног напона мора бити цео број. Синхронизација се остварује тако што се, истовремено када мјерени напон достигне одређену вриједност, генерише импулс који стартује генератор временске базе.

Хоризонтални појачавач прилагођава напон генератора временске базе (или вањског сигнала) хоризонталном отклонском систему (X - оса).

Предња плоча осцилоскопа МА4070 подијељена је на екран и 5 функционално независних поља (одговарају основним дијеловима осцилоскопа), на којима се налазе одређени прекидачи, преклопке и потенциометри. У наставку су дата значења и функције свих дијелова осцилоскопа, који су означени бројевима на слици 4.8.:

- 1) ЕКРАН: представља мрежу од 10×8 квадрата, сваки ивице од 1 cm. Хоризонтална и вертикална линија, које дијеле екран по средини, сваки квадрат дијели на 5 дијелова, ради тачнијег читања.
- 2) POWER: - Главни прекидач за укључење/искључење напајања уређаја.
 - 2a) ON/OFF – LED сијалица за сигнализацију укључености,
 - 2b) Прекидач за укључење/искључење напајања уређаја.

- 3) BEAM: поље са потенциометрима за подешавање електронског млаза.
 - 3a) INTENS - потенциометар за подешавање интензитета (јачине) свјетлости на екрану, (електронског млаза). Да се екран не би оштетио, јачину млаза треба поставити на минимум, али да се задржи добра видљивост мјереног сигнала.
 - 3b) FOCUS - потенциометар за подешавање оштрине слике (млаза). Добро фокусиран млаз даје на екрану круг малог пречника, а лоше фокусиран млаз даје елипсу.
- 4) CAL: прикључак за калибрацију вертикалног и хоризонталног појачавача и сонде. Директним прикључењем мјерне сонде на прикључну стезаљку у овом пољу, на екрану осцилоскопа се мора добити напон правоугаоног облика (четвртке), амплитуде 1 V и тачне фреквенције (ако су вертикални и хоризонтални појачавач и сонда добро калибрисани).
- 5) TIME BASE: поље са преклопком, потенциометрима, прекидачима и типкама за подешавање хоризонталног скретног система (временске базе и синхронизације).
 - 5a) BEAM - типка за тражење млаза на екрану осцилоскопа. Ако је млаз ван екрана, треба притиснути ову типку, и на основу положаја тачке која се појави одредити гдје се млаз налази. Млаз вратити на екран помјерањем потенциометара X POSITION и Y POSITION.
 - 5b) TIME/DIV - преклопка за подешавање брзине временске базе. Постоје 3 подручја, и то s (секунде), ms (милисекунде) и μ s (микросекунде). Сваки хоризонтални подиок (коцка) на екрану вриједи онолико времена колико показује ова преклопка (ако је потенциометар VAR на овој преклопци у положају CAL и ако је типка x10 искључена).
 - 5c) VAR (на TIME/DIV) - потенциометар за континуално подешавање брзине временске базе унутар изабраног подручја. У положају CAL брзина временске базе одређена је положајем преклопке TIME/DIV, а у крајњем десном положају брзина је смањена 2,5 пута. За тачно мјерење времена на екрану осцилоскопа потребно је потенциометар VAR обавезно држати у положају CAL.
 - 5d) x10 - прекидач за повећање брзине временске базе 10 пута. Укључењем овог прекидача слика на екрану се рашири 10 пута.
 - 5e) X POSITION - потенциометар за помјерање слике лијево/десно (по X оси екрана).
 - 5f) INT - прекидач за укључење интерне синхронизације (генератор временске базе стартује се из вертикалног појачавача, синхронизовано са мјереним сигналом).
 - 5g) TRIG LEVEL - потенциометар за подешавање нивоа окидања, нивоа напона од кога млаз стартује. Пошто се прекидачима одабере начин синхронизације, стварна синхронизација (смиривање слике на екрану) остварује се подешавањем овог потенциометра.
 - 5h) TRIG 'D - LED индикација синхронизације. Ако је синхронизација остварена, LED свјетли.
 - 5i) -/+ - прекидач којим се бира да ли ће млаз стартовати од растућег (+) или опадајућег (-) дијела сигнала.
 - 5j) EXT - прекидач за укључење синхронизације из вањског извора.
 - 5k) BNC конектор на HOS - улаз хоризонталног скретног система. Када се на овај улаз доводе вањски синхронизациони импулси прекидач SWP/XDEFL мора бити у положају SWP, а када се на овај улаз доводи вањски сигнал умјесто временске базе (цртање Лисажуових фигура), прекидач SWP/XDEFL мора бити у положају XDEFL.

5l) SWP/XDEFL - прекидач за избор начина рада хоризонталног скретног система. У нормалном случају, када ради временска база, прекидач мора бити у положају SWP, а када хоризонтални скретни систем ради као хоризонтални појачавач (вањски сигнал умјесто временске базе), у положају XDEFL.

6) AMPLIFIER (A, B) - поље са преклопкама, потенциометрима и прекидачима за подешавање вертикалног скретног система. Како је МА4070 двоканални осцилоскоп са улазима А и В, то су и неке функције у овом пољу дуплиране.

6a) BNC конектор (A,B) - улаз вертикалног скретног система. На ове конекторе се прикључују мјерне сонде или коаксијални каблови који на крајевима имају BNC конектор.

6b) A (B) - прекидач за укључење канала А или канала В.

6c) AB - прекидач за двоканални рад (на екрану се истовремено види и А и В сигнал).

6d) A+B – прекидач за сабирање вриједности напона два канала (на екрану се приказује сума напона канала А и В).

6e) INV B - прекидач за инвертовање сигнала В (B^{-1}).

6f) TRIGGER A/B - прекидач за бирање мјерног канала према коме ће се вршити синхронизација временске базе, у случају када је изабрана интерна синхронизација (укључен прекидач INT).

6g) 0 - прекидач за одвајање вертикалног појачавача улазног сигнала. На екрану се појављује хоризонтална линија, којој одговара напон 0 V (нула - референтна линија за мјерење напона). Прије сваког мјерења напона обавезно провјерити положај линије 0 V, како би се могла тачно измјерити амплитуда мјерног сигнала.

6h) DC/AC - прекидач за бирање везе између вертикалног појачавача и улазног напона. У положају DC веза је директна, посматра се и истосмјерна и наизмјенична компонента мјерног сигнала. Када је прекидач у положају AC, између улазног напона и вертикалног појачавача је укључен кондензатор. Тада се на екрану посматра само наизмјенична компонента сигнала. AC положај прекидача се користи и за посматрање наизмјеничне компоненте сигнала, која је суперпонирана на истосмјерну компоненту.

6i) AMPL/DIV (A,B) - преклопка за подешавање вриједности појачања вертикалног појачавача. Постоје 2 могућа положаја, V (волти) и mV (миливолти). Сваки вертикални подиок на екрану вриједи онолико волти колико показује ова преклопка (ако је потенциометар VAR на овој преклопци у положају CAL).

6j) VAR (на AMPL/DIV) - потенциометар за континуално подешавање скретног фактора вертикалног појачавача унутар изабраног подручја појачања. У положају CAL фактор појачања је одређен положајем преклопке AMPL/DIV, а у крајњем десном положају скретни фактор је повећан 2,5 пута. За тачно мјерење напона на екрану осцилоскопа потребно је VAR потенциометар обавезно држати у положају CAL.

6k) Y POSITION (A,B) - потенциометар за помјерање слике мјерног сигнала горе/доле (по Y оси екрана). Ово помјерање се најчешће ради када се мјери амплитуда сигнала. Тачност мјерења амплитуде је већа што сигнал има већу амплитуду на екрану осцилоскопа.



Слика 4.9. Сонде за осцилоскоп и BNC конектор

Мјерна сонда, приказана на слици 4.9., служи за довођење мјерног напона на улаз осцилоскопа. Ради се о коаксијалном каблу, на чијем једном крају се налази BNC конектор за прикључење на одговарајући улаз осцилоскопа (А или В). На другом крају је врх са кукицом, за качење на мјерну тачку, чији напон се мјери. Неке сонде имају и прикључак типа КРОКОДИЛ, који је директно спојен са масом осцилоскопа, а користи се за спајање на други крај мјерног напона (са нижим потенцијалом). Ако је сонда фреквентно компензована, она на врху има паралелни спој отпорника $9\text{ M}\Omega$ и промјењивог кондензатора (4 до 20) pF. Промјеном капацитета овог кондензатора постиже се усклађеност импедансе сонде и улазне импедансе осцилоскопа, тако да је слабљење сигнала због прикључења сонде константно и независно од фреквенције мјерног сигнала (обично 1:1, 10:1, рјеђе 100:1, а у случају високонапонских сонди 1000:1), а изобличења сигнала нема.

Код мјерења осцилоском треба се држати сљедећих правила:

- 1) Осцилоскоп ОБАВЕЗНО напајати преко изолационог трансформатора, јер је МАСА осцилоскопа директно везана са једним прикључком сонде. Маса осцилоскопа је са једне стране преко утикача везана на уземљење утичнице, а са друге стране се преко електроде типа крокодилка везује за неку тачку у електричном колу, која има неки потенцијал у односу на уземљење утичнице. Тиме се преко кућишта осцилоскопа прави директан кратак спој и осигурач искључује утичницу из које се електрично коло напаја. Када се користи раставни трафо, који има преносни однос 1:1, уземљење из утичнице се одваја од осцилоскопа (преносе се само фаза и нула) и нема кратког споја. У овом радном режиму се мора бити опрезан, јер маса осцилоскопа долази на напон, на који се веже електрода сонде типа крокодил, што може бити опасно за особу која рукује осцилоском).
- 2) При мјерењу наизмјеничног напона увијек користити компензоване сонде.
- 3) Прије мјерења, користећи улаз за калибрацију, провјерити калибрисаност временске базе и вертикалног појачавача осцилоскопа, као и квалитет сонде.
- 4) Да би повечали тачност мјерења, скретни фактор и брзину временске базе подесити тако да таласни облик сигнала заузме што већи дио екрана.
- 5) Прије мјерења амплитуде сигнала обавезно подесити вертикални ниво 0 V, односно референтну вриједност од које се рачуна амплитуда сигнала.
- 6) Ради чувања екрана интензитет млаза држати на минималној вриједности.

- 7) Прије мјерења провјерити да ли су потенциометри VAR и на временској бази и на вертикалном појачавачу у положају CAL. Једино тада се на осцилоскопу може тачно измјерити амплитуда и период мјерног сигнала.
- 8) Користећи потенциометре за хоризонтално и вертикално помјерање (X POSITION, Y POSITION), таласни облик сигнала довести у такав положај да се потребна читања изврше на средњим осама осцилоскопа, гдје постоји фина (ситнија) подјела на осама.
- 9) Вријеме које се читава једнако је производу броја подиока и положаја преклопке TIME/DIV, која мора бити у положају CAL.
- 10) Напон који се читава једнак је производу броја подиока и положаја преклопке AMPL/DIV, која мора бити у положају CAL.

4.2.4. Генератор функција МА3733

Генератор функција је извор наизмјеничних напона промјениве амплитуде, три различита таласна облика (синусног, троугаоног и правоугаоног) различите фреквенције. Наизмјеничном сигналу се може додати и одређена вриједност једносмјерне компоненте. Сигнал са генератора функције се најчешће директно води на осцилоскоп, на коме се врши његова анализа. Овај генератор се може користити и за напајање електричних кола, али да у њима не тече велика струја. Уграђен је у лабораторијски сто, а његов изглед је приказан на слици 4.10.



Слика 4.10. Генератор функција МА3733

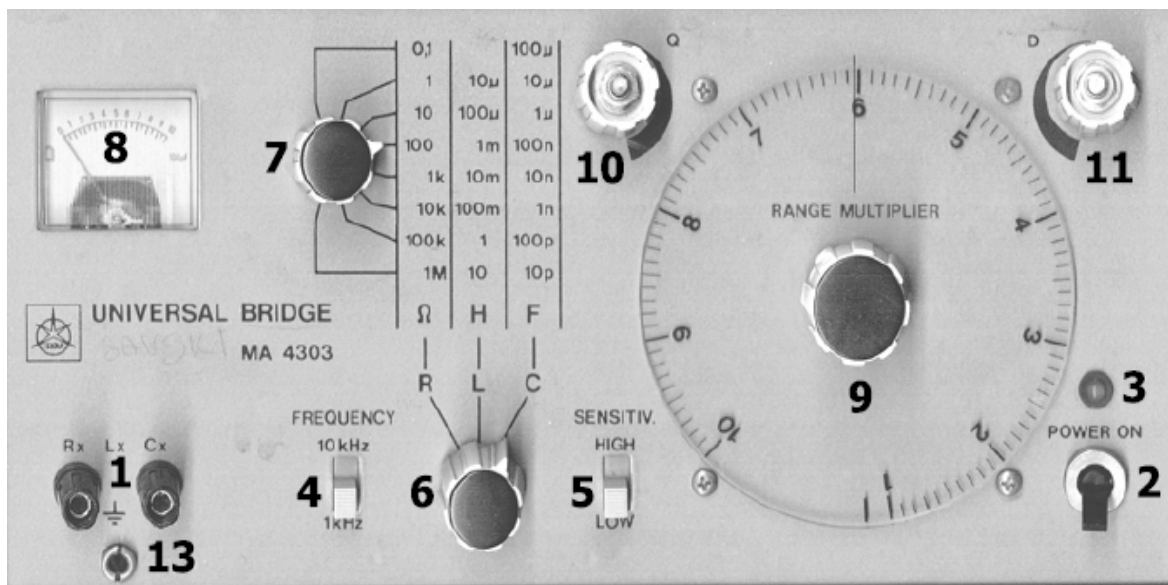
Кратко упутство за кориштење генератора функција је следеће:

- 1) Генератор функција се укључује притиском на типку VKLOP/IZKLOP. Укљученост инструмента сигнализира црвена LED сијалица изнад типке за укључење.
- 2) Преклопком OBLIK SIGNALA бира се облик сигнала (синусни, троугаони или правоугаони).
- 3) Фреквенција излазног сигнала се бира грубо, преклопком ПОДРОЉА (избор декаде фреквентног подручја гдје "к" значи x1000), и фино бирање, линеарним потенциометром FREKVENCA Hz. Постављена фреквенција је једнака производу декадног подручја и показивања потенциометра.
- 4) Амплитуда излазног сигнала се подешава потенциометром AMPLITUDA. Прекидачем 20 dB/0dB подешена амплитуда сигнала се смањује за 20 dB.

- 5) Прекидач VKLOP/IZKLOP, десно од потенциометра NIVO, служи за укључивање или искључивање истосмјерне компоненте сигнала, која се додаје на наизмјенични сигнал. Истосмјерна компонента сигнала (-10 V до 10 V), се подешава потенциометром NIVO.
- 6) Излазни сигнал присутан је на два излаза означена са IZHOD $50\ \Omega$ (BNC конектор) и IZHOD $600\ \Omega$ (банана прикључак). Овај податак нам говори, колика је излазна импеданса појединог излаза генератора функције.

4.2.5. Универзални R, L, C мјерни мост

Универзални мјерни мост МА4303 је приказан на слици 4.11. и саставни је дио столова за извођење лабораторијских вјежби.



Слика 4.11. Универзални мост МА4303

Овим мјерним мостом се може мјерити електрична отпорност, индуктивитет и капацитет. Отпорност се мјери Вистоновим мостом, капацитет Виновим, а индуктивитет Максвеловим мостом. То значи да су унутар инструмента реализована три различита мјерна моста који се, у зависности од потребе, бирају помоћу прекидача 6, слика 4.11. Сва три моста се напајају наизмјеничним напоном фреквенције 1 kHz или 10 kHz амплитуде $1,5\text{ Vpp}$, са толеранцијом $\pm 10\%$.

Када се мјери активна електрична отпорност, користи се фреквенција од 1 kHz . Мост може мјерити отпоре од $0,1\ \Omega$ до $10\text{ M}\Omega$ у 8 мјерних опсега. Дозвољена граница грешке мјерења отпора од $10\ \Omega$ до $10\text{ M}\Omega$ износи $\pm 1,5\%$ од горње границе мјерног опсега, а за отпоре до $10\ \Omega$ и изнад $1\text{ M}\Omega$ износе $\pm 3\%$ од горње границе мјерног опсега.

Капацитет се може мјерити у 8 мјерних подручја у опсегу од 10 pF до $100\ \mu\text{F}$. Дозвољена граница грешке мјерења је $\pm 5\%$ од горње границе мјерног опсега. Фреквенција напајања мјерног моста је 1 kHz .

Индуктивитети од $10\ \mu\text{H}$ до 100 H се могу мјерити у 7 мјерних опсега. Фреквенција напајања моста је 1 kHz , ако је фактор добротеле велики, а 10 kHz ако је фактор добротеле мали. Дозвољена граница грешке мјерења је $\pm 3\%$ од горње границе мјерног опсега.

Мјерни мост се укључује кориштењем прекидача (ознака 2 на слици 4.11.). Индуктивност која се мјери прикључује се на стезалке (ознака 1 на слици 4.11.), а његово

кућиште, ако постоји, на прикључницу за уземљење (ознака 13 на слици 4.11.). Преклопком (ознака 6 на слици 4.11.) се врши избор врсте мјерења. Преклопком (ознака 4 на слици 4.11.) се одређује фреквенција при мјерењу отпорности, индуктивности или капацитивности. Преклопка (ознака 7 на слици 4.11.) се поставља на вриједност гдје се очекују резултати мјерења.

Приликом мјерења отпора већа тачност мјерења (фино постизање равнотеже моста) се остварује са потенциометром (ознака 9 на слици 4.11.) уз преклопку (ознака 5 на слици 4.11.) у положају „HIGH“, док се не постигне најмањи отклон казаљке нулиндикатора.

Приликом мјерења капацитета оба потенциометра (ознака 11 на слици 4.11.) се закрену до краја у лијеви положај. Потенциометром (ознака 9 на слици 4.11.) се подешава најмањи отклон нулиндикатора. Ако то није могуће, наизмјеничним подешавањем већег потенциометра 11 и потенциометра 9, а затим малог потенциометра 11 и потенциометра 9, постиже се најмањи отклон казаљке нулиндикатора.

Приликом мјерења индуктивности оба потенциометра (ознака 10 на слици 4.11.) се закрену до краја у десни положај. Ако је износ мјереног индуктивитета $10 \mu\text{H}$ до $100 \mu\text{H}$ потребно је изабрати фреквенцију 10 kHz , а за све остале износе индуктивитета, фреквенцију 1 kHz . Потенциометром (ознака 9 на слици 4.11.) се подешава најмањи отклон казаљке нулиндикатора. Ако калем, код кога се мјери индуктивитет, има мали фактор добротe, најмањи отклон нулиндикатора се подешава наизмјенично потенциометром 9 и великим потенциометром 10, а затим потенциометром 9 и малим потенциометром 10. Ако је фактор добротe мали потребно је скалу потенциометра 9 поставити у средњи положај, а лаганим окретањем великог потенциометра 10 подешава се најмањи отклон нулиндикатора.

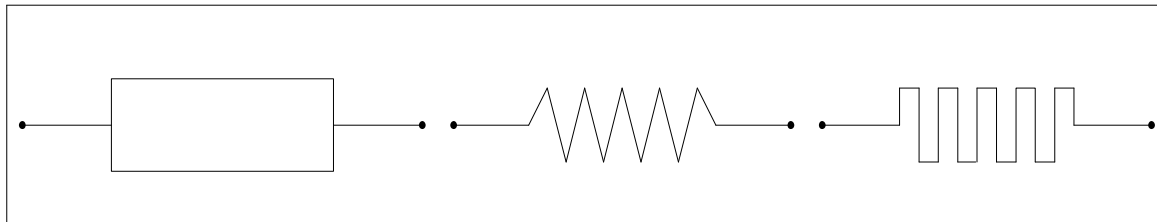
4.3. Опис елемената

4.3.1. Отпорници

Отпорник је пасивна електрична компонента, који пружа отпор протицању електричне струје. Карактеристична величина отпорника је електрични отпор R који је, према Омовом закону, једнак количнику пада напона на отпорнику U и јачине електричне струје I која протиче кроз отпорник.

$$R = \frac{U}{I} \quad (4.1)$$

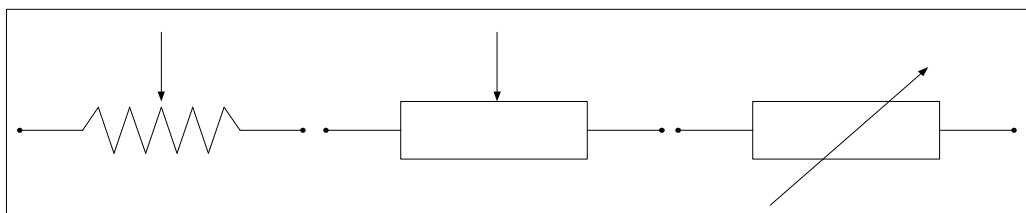
Другим ријечима, електрични отпор је константа сразмјере између напона и струје отпорника. Јединица за електрични отпор је ом (ознака Ω). На слици 4.12. су приказани симболи, којима се означавају отпорници у електричним шемама.



Слика 4.12. Симболи којима се означавају отпорници у електричним шемама

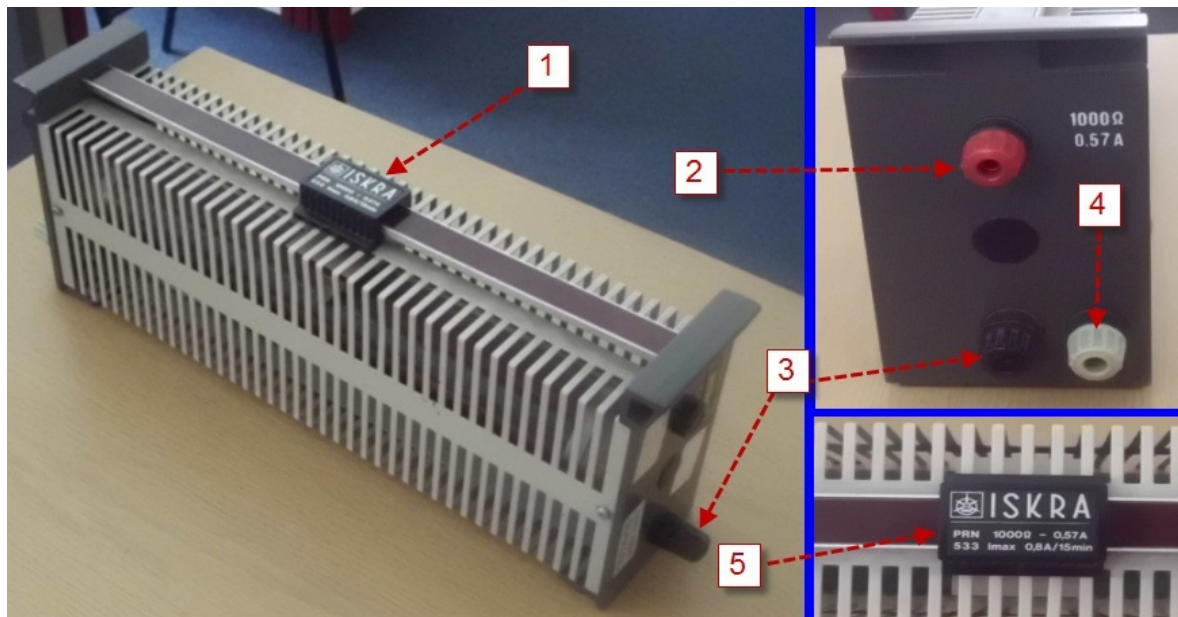
Са аспекта вриједности отпорности постоје три основне групе отпорника, а то су: отпорници сталне отпорности, отпорници промјенљиве отпорности (потенциометри) и нелинеарни отпорници.

Приликом израде лабораторијских вјежби, користе се отпорници сталне отпорности и отпорници промјењиве отпорности тзв. потенциометри. Нелинеарни отпорници се у лабораторијским вјежбама неће користити. Потенциометри се примјењују за ручну регулацију струја и напона у електричним колима. На слици 4.13. су приказани симболи којима се они приказују у шемама.



Слика 4.13. Симболи којима се означавају потенциометри у електричним шемама

На слици 4.14. је приказан потенциометар из лабораторије за електрична мјерења, називне отпорности 1000 Ω .



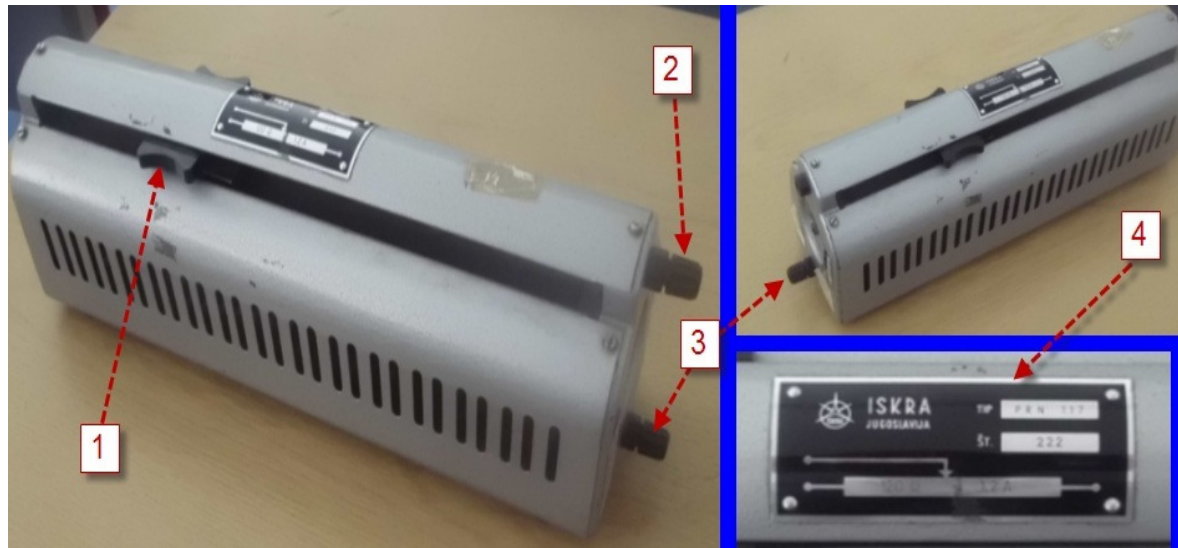
Слика 4.14. Потенциометар називне отпорности 1000 Ω

Битни елементи потенциометра су означени бројевима на слици 4.14., а они су:

- 1) Клизач помоћу кога се врши регулација отпорности.
- 2) Прикључак који је везан за клизач потенциометра. Користи се у случајевима када желимо да вршимо регулацију отпорности потенциометра.
- 3) Прикључак који је везан за фиксни спој потенциометра. Ако се прилоком спајања потенциометра у електричним колима користе ова два фиксна прикључка, онда ће потенциометар бити без могућности регулације отпорности. Ако се за прикључење елемента користи један фиксни прикључак (број 3 на слици 4.14.), а други који је везан за клизач (број 2 на слици 4.14.) онда ће потенциометар у колу имати могућност регулације отпорности.

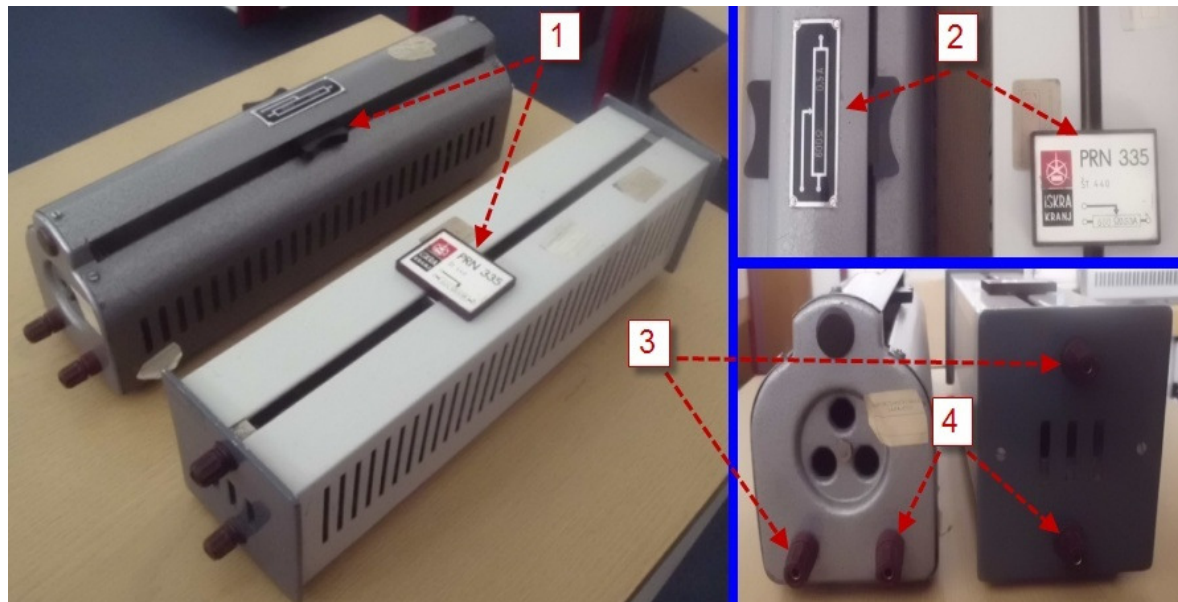
- 4) Прикључак за уземљење металног кућишта потенциометра (овај прикључак на неким потенциометрима не постоји). Овај прикључак се због безбједности по потреби спаја на уземљење у лабораторији.
- 5) Натписна плочица са свим битним подацима о потенциометру.

На слици 4.15. је приказан потенциометар из лабораторије за електрична мјерења, чија је називна отпорност једнака $120\ \Omega$.



Слика 4.15. Потенциометар називне отпорности $120\ \Omega$

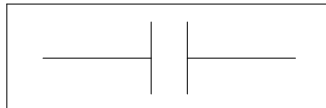
На слици 4.16. су приказана два потенциометра из лабораторије за електрична мјерења, чија је називна отпорност једнака $600\ \Omega$.



Слика 4.16. Потенциометри називне отпорности $600\ \Omega$

4.3.2. Кондензатори

Кондензатор је пасивна електрична компонента, који може да акумулира електричну енергију у облику електричног поља између двије или више електрода раздвојених са изолатором (диелектриком). На слици 4.17. приказан је симбол, којим се кондензатор означава у електричним шемама.



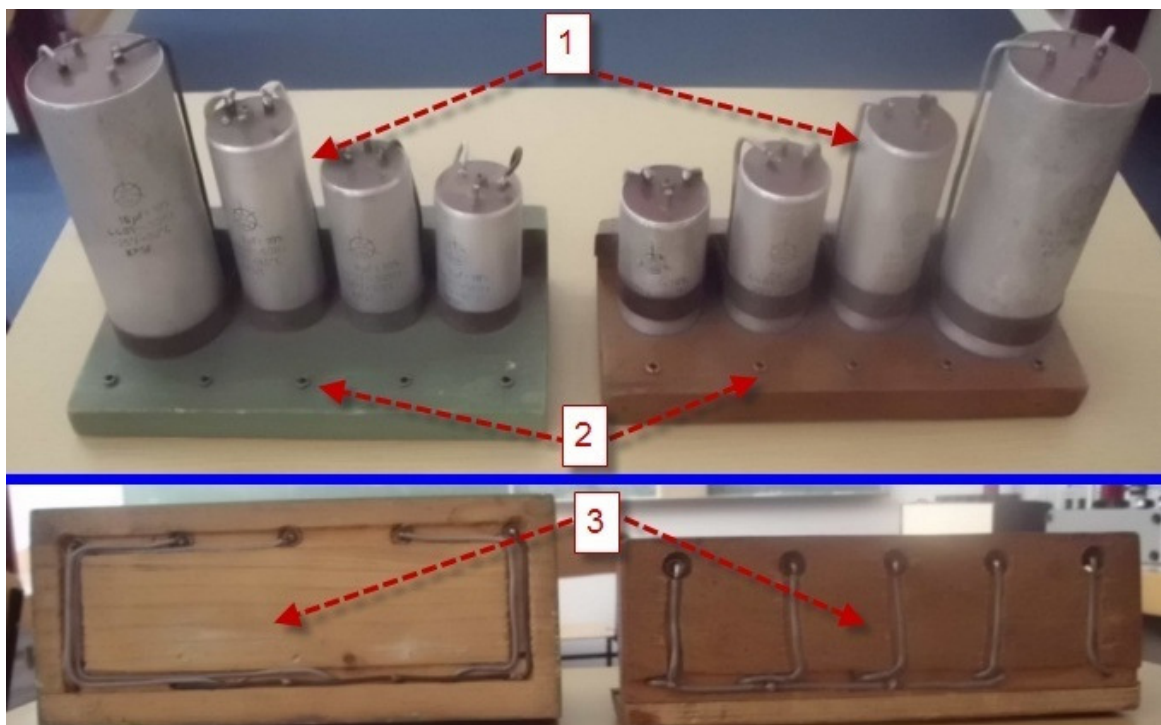
Слика 4.17. Симбол кондензатора у електричним шемама

Карактеристична величина кондензатора је његова електрична капацитивност C , која је одређена количником количине наелектрисања на његовим електродама Q и вриједности напона између његових прикључака U :

$$C = \frac{Q}{U} \quad (4.2)$$

Називна капацитивност кондензатора јесте капацитивност при нормалним радним условима и означена је на тијелу кондензатора. Основна мјерна јединица за капацитет је фарад (ознака F). Међутим, с обзиром да је фарад врло велика јединица, капацитивност се обично изражава у милифарадима (mF), микрофарадима (μF), нанофарадима (nF) и пикофарадима (pF).

На слици 4.18. су приказани кондензатори капацитивности $2 \mu F$, $4 \mu F$, $8 \mu F$ и $16 \mu F$ из лабораторије за Електрична мјерења, који су постављени на заједничко постоље.



Слика 4.18. Кондензатори из лабораторије за електрична мјерења капацитивности $2, 4, 8$ и $16 \mu F$

На слици 4.18. ознаке имају следеће значење:

- 1) Кондензатори капацитивности $2 \mu F$, $4 \mu F$, $8 \mu F$ и $16 \mu F$.
- 2) Прикључци за спајање кондензатора у електрично коло.

- 3) Доња страна заједничког постоља кондензатора, на којој је приказан начин, на који су повезани кондензатори.

Кондензатори на слици 4.18. имају један заједнички прикључак, док се остала четири користе у зависности од тога, који кондензатор желимо да спојимо у електрично коло.

4.3.3. Пригушнице

Пригушница је пасивна електрична компонента, која посједује реактивну отпорност директно пропорционалну фреквенцији доведеног сигнала на њене прикључке. Индуктивност пригушнице се изражава у хенријима (ознака H).

На слици 4.19. приказан је симбол, којим се пригушница означава у електричним шемама.



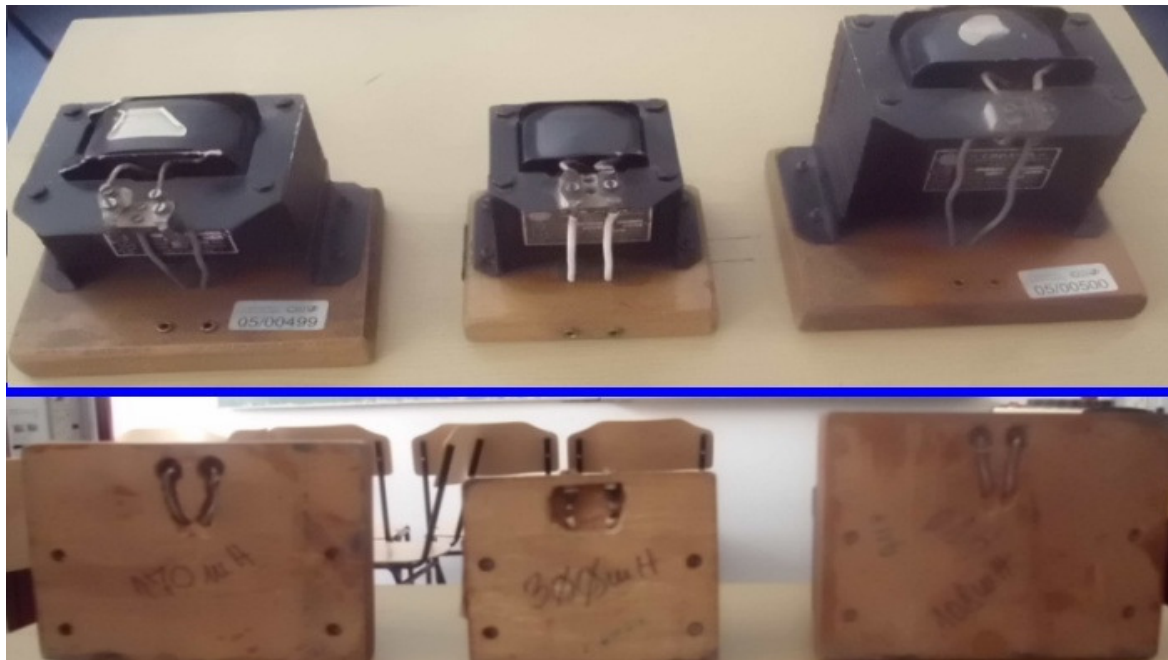
Слика 4.19. Симбол пригушнице у електричним шемама

Карактеристична величина пригушнице је њена електрична индуктивност L , која је одређена количником флукса Φ и струје I :

$$L = \frac{\Phi}{I} \quad (4.3)$$

Називна индуктивност пригушнице јесте индуктивност при нормалним радним условима и означена је на тијелу пригушнице. Основна мјерна јединица за индуктивитет је хенри (ознака H). Међутим, с обзиром да је хенри велика јединица, индуктивност се обично изражава у милихенријима (mH).

На слици 4.20. су приказане три пригушнице, које се користе током израде лабораторијских вјежби. Вриједности њихових индуктивности су написане на постољу елемента (са доње стране) и износе 170 mH, 300 mH и 108 mH. Свака од пригушница има два прикључна краја, којима се везује у електрично коло.



Слика 4.20. Пригушнице за израду лабораторијских вјежби

5. ОСНОВНЕ ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ВЈЕЖБЕ

5.1. Вјежба број 1 - Статистичка обрада резултата мјерења

5.1.1. Циљ вјежбе и теоријска подлога

Циљ вјежбе је статистичка анализа резултата мјерења, ради процјене стварне вриједности мјерене величине и случајне компоненте мјерне несигурности. Анализа се врши на примјеру мјерења активне отпорности отпорника. Такође, циљ вјежбе је и да се покажу разлике између мјерених вриједности отпорности идентичних отпорника.

Приликом израде и декларисања називних карактеристика отпорника сваки произвођач даје степен толеранције, односно опсег могућих одступања отпорности отпорника у односу на назначену вриједност. За извођење вјежбе потребно је узети 25 идентичних отпорника, који посједују једнаке назначене отпорности и назначене толеранције. Помоћу омметра треба измјерити њихове стварне отпорности. Добијене вриједности је потребно статистички обрадити на следећи начин:

- 1) Одредити аритметичку средину резултата мјерења на основу формуле (2.10).
- 2) Процијенити стандардну девијацију резултата мјерења на основу формуле (2.11).
- 3) Процијенити релативну стандардну девијацију резултата мјерења на основу формуле:

$$r = \frac{s}{x_s}, \quad (5.1)$$

- 4) Процијенити стандардну девијацију аритметичке средине на основу формуле (2.12).
- 5) Процијенити релативну стандардну девијацију аритметичке средине на основу формуле:

$$r_x = \frac{s_x}{x_s} \quad (5.2)$$

- 6) Одредити границе резултата мјерења у опсегу: $x_s \pm s$, $x_s \pm 2s$, $x_s \pm 3s$.
- 7) Одредити подручје поузданости аритметичке средине измјерених вриједности у опсегу: $x_s \pm s_x$, $x_s \pm 2s_x$, $x_s \pm 3s_x$.

5.1.2. Попис опреме

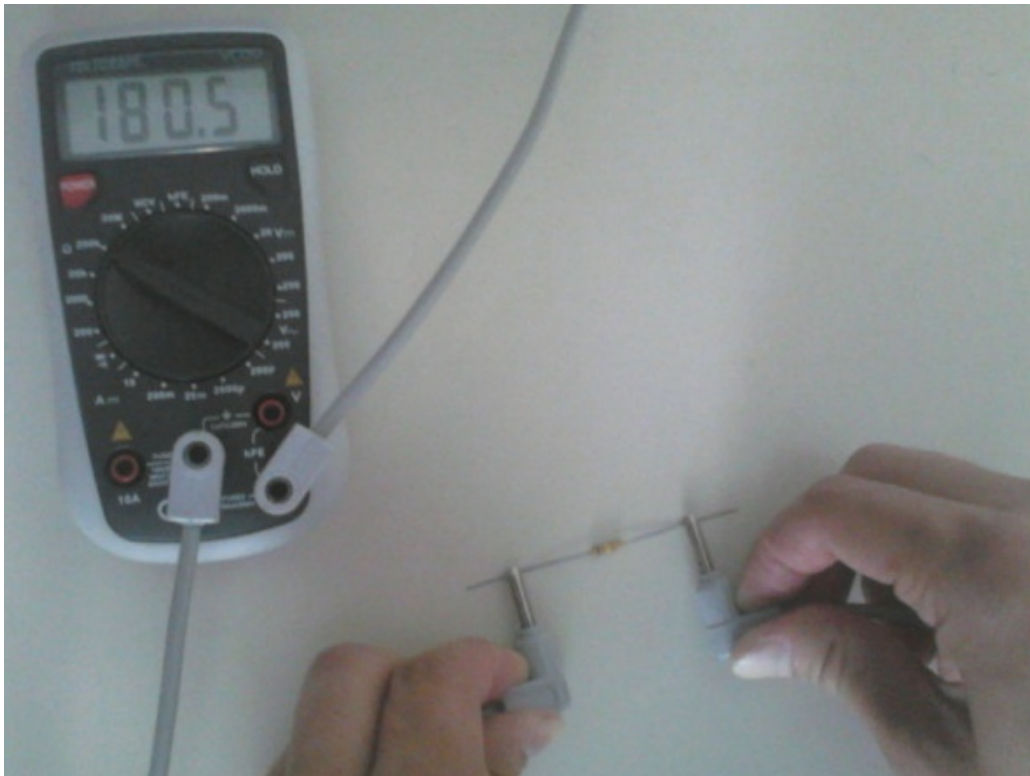
За дату лабораторијску вјежбу потребни су следећи инструменти:

- 1) Омметар (мултиметар) за мјерење отпорности.
- 2) 25 идентичних отпорника (отпорници истог произвођача који су добијени истим технолошким поступком и који имају идентичне назначене карактеристике).

5.1.3. Начин извођења вјежбе

Од предметног асистента преузети 25 отпорника и на основу боја које се на њима налазе одредити назначену отпорност и назначену толеранцију. Дигитални мултиметар подесити за мјерење отпорности и измјерити отпорности отпорника. На слици 5.1. приказан је правилан начин мјерења отпорности. Отпорник поставити на постоље од

изолационог материјала, а дијелови тијела особе која врши мјерење не смију бити у контакту са отпорником на коме се врши мјерење.



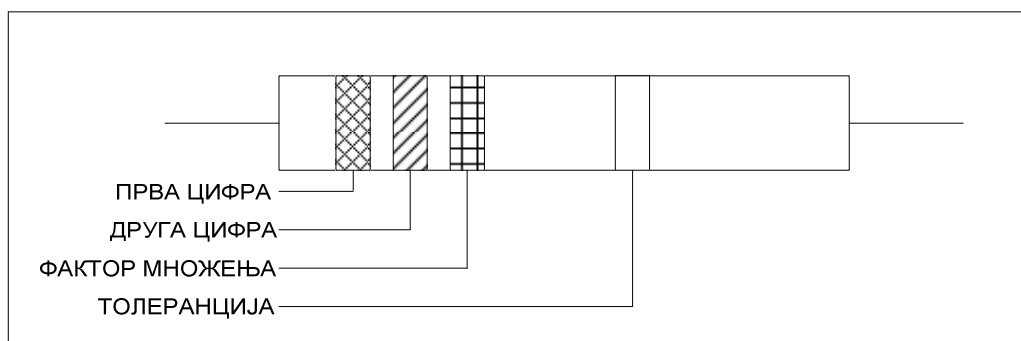
Слика 5.1. Правилно мјерење отпорности отпорника



Слика 5.2. Неправилно мјерење отпорности отпорника

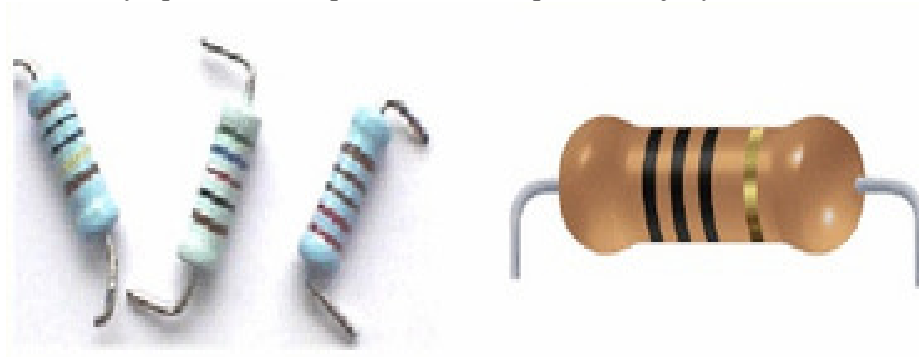
На слици 5.2. је приказан неправилан начин мјерења отпорности отпорника, гдје особа која врши мјерење прстима додирује крајеве отпорника, чија се отпорност мјери. Неправилно мјерење је узрок појаве грубих грешака у добијеним резултатима и такви резултати се по правилу одбацују. У овом случају су руке особе која врши мјерење у директном контакту са електродама отпорника, тако да мултиметар мјери еквивалентну отпорност отпорника и отпорност човјековог тијела, везаног паралелно отпорнику, чија се отпорност мјери. Због тога се мјерењем добијају мање вриједности отпорности отпорника и велика одступања измјерених од назначених вриједности на отпорнику.

Називна отпорност и допуштено одступање отпорности од називне вриједности (толеранција) најчешће су означени на самом тијелу отпорника. Обиљежавање се врши уз помоћ бројева или линија у боји. Када је вриједност отпора одштампана цифрама, може доћи до дјелимичног или потпуног брисања услед транспорта или при коришћењу, док је у случају примјене трака овај сценарио мање вјероватан. Приликом означавања отпорника бојама могу да се користе 4, 5 или 6 трака, при чему је најчешћа употреба 4 траке. На слици 5.3. је приказано означавање отпорника са 4 траке.



Слика 5.3. Означавање отпорника са 4 траке

На слици 5.4. су приказани отпорници са 4 и 5 трака на тијелу.



Слика 5.4. Отпорници са 4 и 5 трака

У табели 5.1. су представљени коефицијенти, распоређени по бојама, на основу којих се одређује вриједност отпорности и толеранција посматраног отпорника.

Код отпорника са 4 траке (А, Б, Ц, Д) одређивање вриједности отпорности и толеранције се врши према следећем обрасцу:

$$AB \times C [\Omega] \pm D\%$$

Отпорници са пет трака су метал-филм отпорници, који имају мању толеранцију, тј. мање одступање од декларисане отпорности, па им је потребна додатна цифра за обиљежавање.

Код отпорника са 6 трака, шеста трака представља вриједност температурног коефицијента отпорности, и она је дупло шири од осталих трака.

Приликом читања боја са отпорника увијек се мора водити рачуна да се трака за толеранцију, која је одвојена од осталих трака, налази на десној страни.

Табела 5.1. Коефицијенти за одређивање отпорности и толеранције отпорника

Боја	Цифра	Фактор множења	Толеранција [%]	Температурни коефицијент
Сребрна	...	0,01	± 10	...
Златна	...	0,1	± 5	...
Црна	0	1	...	200
Смеђа	1	10	± 1	100
Црвена	2	100	± 2	50
Наранџаста	3	10^3	...	15
Жута	4	10^4	...	25
Зелена	5	10^5	± 0.5	...
Плава	6	10^6	± 0.25	10
Љубичаста	7	10^7	± 0.1	5
Сива	8	10^8	...	1
Бијела	9	10^9

5.1.4. Питања и задаци

- 1) Навести боје које се налазе на отпорнику и њихово значење. Дефинисати назначене карактеристике отпорника.
- 2) Извршити 25 мјерења и добијене вриједности уписати у табелу 5.2.

Табела 5.2. Примјер табеле за уношење резултата мјерења

Измјерена вриједност X_i (k Ω)	Привидна грешка $X_i - X_s$ (Ω)	Квадрат привидне грешке $(X_i - X_s)^2$ ($10^6 \Omega^2$)

- 3) Извршити статичку обраду резултата мјерења отпорности у складу са упутствима из поглавља 5.1.1.
- 4) Добијене вриједности отпорности отпорника представити Гаусовом функцијом густине расподеле вјероватноће (приказана је на слици 2.2.). На апсцисној оси нанијети измјерене вриједности отпорности отпорника, а на ординатној оси вјероватноћу појављивања дате вриједности отпорности отпорника.
- 5) Дати коментар да ли мјерене вриједности отпорности отпорника подлијежу Гаусовој односно нормалној расподели, или их боље описује правоугаона или троугаона расподела.
- 6) Зашто се отпорности отпорника разликују, иако су им назначене карактеристике, технологија израде и произвођач исти?
- 7) Да ли су измјерене отпорности отпорника унутар граница толеранције које су назначене на отпорнику?

5.2. Вјежба број 2 – Еталонирање амперметра

5.2.1. Циљ вјежбе и теоријска подлога

Циљ вјежбе је извршити еталонирање аналогног амперметра методом поређења са еталонским инструментом, при чему се ограничавамо на еталонирање само једног мјерног опсега.

Сваки произвођач мјерне опреме, приликом израде мјерних инструмената, дефинише и њихову класу тачности, као једну од најбитнијих особина. С обзиром да је класа тачности мјерног инструмента у току експлоатационог вијека подложна промјенама, периодично је потребно сваки мјерни инструмент еталонирати. Основни циљ еталонирања мјерног инструмента је да се провјери да ли дати инструмент још увијек задовољава декларисану класу тачности и ако не задовољава, да му се дефинише нова класа тачности.

Када се мјерни инструмент користи у границама свог мјерног опсега и при референтним условима његова грешка не смије прећи вриједност, која одговара граници дозвољене грешке (GDG). Нпр., за аналогни амперметар класе тачности 1 апсолутна грешка измјерених вриједности струја, на било ком дијелу мјерног опсега не смије прећи вриједност од 1% пуног мјерног опсега. У случају да се мјери струја на мјерном опсегу од 1 А, грешка не смије прећи вриједност од ± 0.01 А (GDG = ± 0.01 А), при референтним условима. Зависно од класе тачности мјерног инструмента еталонирање се може спровести на више начина, и то: методом поређења, компензационом методом, итд.

У случају методе поређења, еталонирање мјерног инструмента се врши тако што се пореди вриједност, коју показује еталонски амперметар, са вриједношћу коју показује амперметар који се еталонира. На основу добијених резултата рачунају се апсолутна (ΔX) и релативна (δ_r) грешка, а помоћу једначина (2.2) и (2.3). На основу ових једначина се рачуна и фактор корекције k , која представља негативну вриједност апсолутне грешке мјерења. Сведену релативну грешку γ , на основу које утврђујемо да ли је дати инструмент у класи тачности, добијамо из једначине:

$$\gamma = \frac{\Delta X}{MO} \cdot 100 \quad (5.3)$$

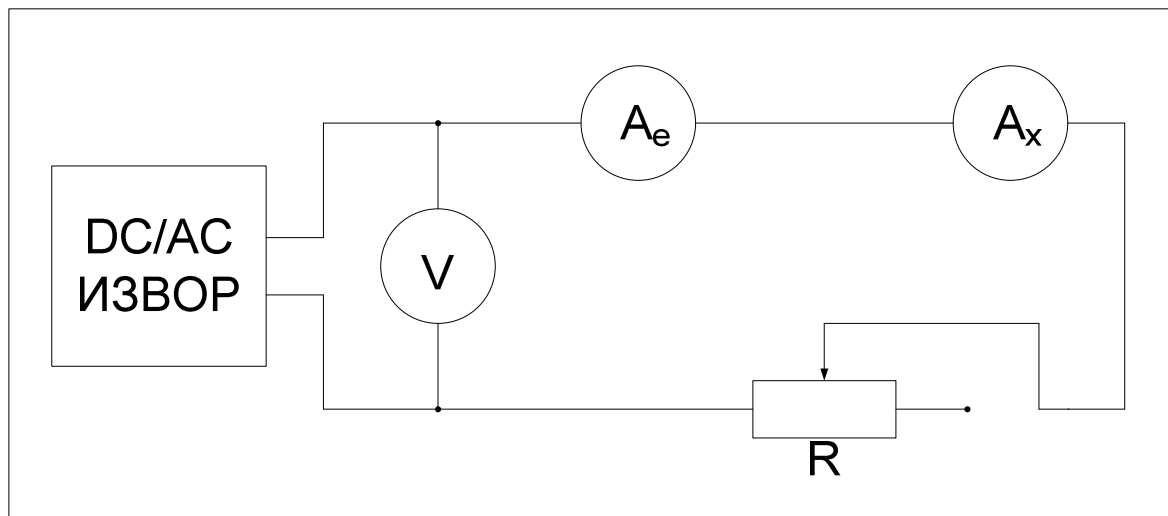
гдје је: MO - мјерни опсег инструмента.

Да би мјерни инструмент припадао декларисаној класи тачности сведена релативна грешка γ мора бити мања од бројне вриједности назначене класе тачности.

Методом поређења се могу еталонирати и једносмјерни и наизмјенични амперметри.

5.2.2. Шема спајања

На слици 5.5. је приказана електрична шема, која се користи приликом еталонирања амперметра A_x са еталонским амперметром A_e .



Слика 5.5. Електрична шема која се користи за еталонирање амперметра

5.2.3. Попис опреме

За дату лабораторијску вјежбу потребни су следећи инструменти:

- 1) Волтметар (V).
- 2) Амперметар који се еталонира (A_x) (аналогни амперметар).
- 3) Еталонски амперметар (A_e) (дигитални амперметар).
- 4) Регулациони отпорник 120 Ω , 1,2 A.
- 5) Извор једносмјерног или наизмјеничног напона.

5.2.4. Начин извођења вјежбе

Потребно је спојити електричну шему са слике 5.5. на следећи начин:

- 1) Изабрати елементе потребне за дато коло, а који су већ наведени у поглављу 5.2.3.
- 2) Елементе на радном столу распоредити као на слици 5.6. Ово је првенствено важно ради лакшег спајања и контролисања електричне шеме.
- 3) Кабловима за спајање повезати елементе у електрично коло и сачекати потврду асистента да је све исправно повезано.

Прије почетка процеса мјерења обавезно записати назначене карактеристике аналогног амперметра (класа тачности и остале карактеристике). Контрола улазног напона се врши помоћу волтметра, који је подешен тако да мјери одговарајући DC или AC напон. Напон напајања треба да буде 10 V. Помоћу регулационог отпорника се подешава струја у електричном колу, тако да њена вриједност варира од минималне до максималне вриједности за дати мјерни опсег. Аналогни амперметар треба да буде спојен на минималан мјерни опсег да би се вјежба изводила са што је могуће мањим вриједностима

струја. Вриједност струје очитавати на еталонском амперметру и упоређивати са вриједношћу добијеном на амперметру који се еталонира. Приликом очитавања вриједности струје на аналогном мјерном инструменту посматра се број подиока на мјерној скали (α_x) и вриједност сваког подиока (k_x), која зависи од подешеног мјерног опсега.

Важно упозорење

Пошто регулациони отпорник служи да ограничи струју у електричном колу, строго водити рачуна да његова вриједност електричне отпорности никада не буде блиска нули!

На слици 5.6. приказан је практичан начин спајања електричне шеме са слике 5.5., на мјерном опсегу 0,5 А.



Слика 5.6. Спојена електрична шема са слике 5.5.

5.2.5. Питања и задаци

- 1) Извршити 10 мјерења за различите вриједности струје на једном мјерном опсегу (минималном). Израчунати вриједности за ΔX , δ_r , κ , γ и уписати их у табелу 5.3.

Табела 5.3. Примјер табеле за уношење резултата при еталонирању амперметра

Редни број мјерења	A_x			A_e	ΔX [mA]	δ_r [%]	κ [mA]	γ [%]
	k_x [A/pod]	α_x [pod]	I_x [mA]	I_e [mA]				
1.								
2.								

- 2) Објаснити шта значе и како се примјењују прорачуном добијене вриједности константи ΔX , δ_r , κ и γ ?
- 3) Продискутовати да ли је испитивани амперметар на коришћеном мјерном опсегу у назначеној класи тачности.
- 4) Објаснити како се врши мјерење помоћу аналогног мјерног инструмента, са посебним освртом на начин читавања мјерене вриједности струје.
- 5) Коментарисати различите скале на мјерном инструменту, објаснити поступак читавања вриједности мјерене величине, када крајњи досег скале не одговара подешеном мјерном опсегу.
- 6) Са коришћеног инструмента прочитати класу тачности и симбол о принципу рада инструмента. Коментарисати остале назначене симболе.

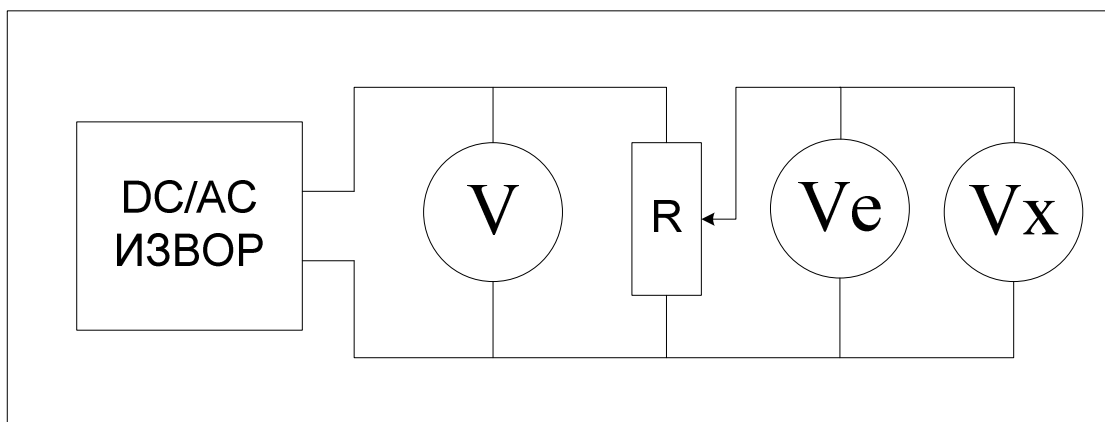
5.3. Вјежба број 3 – Еталонирање волтметра

5.3.1. Циљ вјежбе и теоријска подлога

Циљ вјежбе је извршити еталонирање аналогног волтметра методом поређења, при чему се ограничавамо на еталонирање само једног мјерног опсега. Теоријски опис вјежбе је идентичан као у претходној вјежби и може се наћи у поглављу 5.2.

5.3.2. Шема спајања

На слици 5.7. приказана је електрична шема, која се користи приликом еталонирања волтметра.



Слика 5.7. Електрична шема која се користи за еталонирање волтметра

5.3.3. Попис опреме

За дату лабораторијску вјежбу потребни су следећи инструменти:

- 1) Регулациони отпорник 120 Ω .
- 2) Извор једносмјерног или наизмјеничног напона.
- 3) Волтметар (V_e) (дигитални волтметар).
- 4) Волтметар (V_x) (аналогни волтметар).

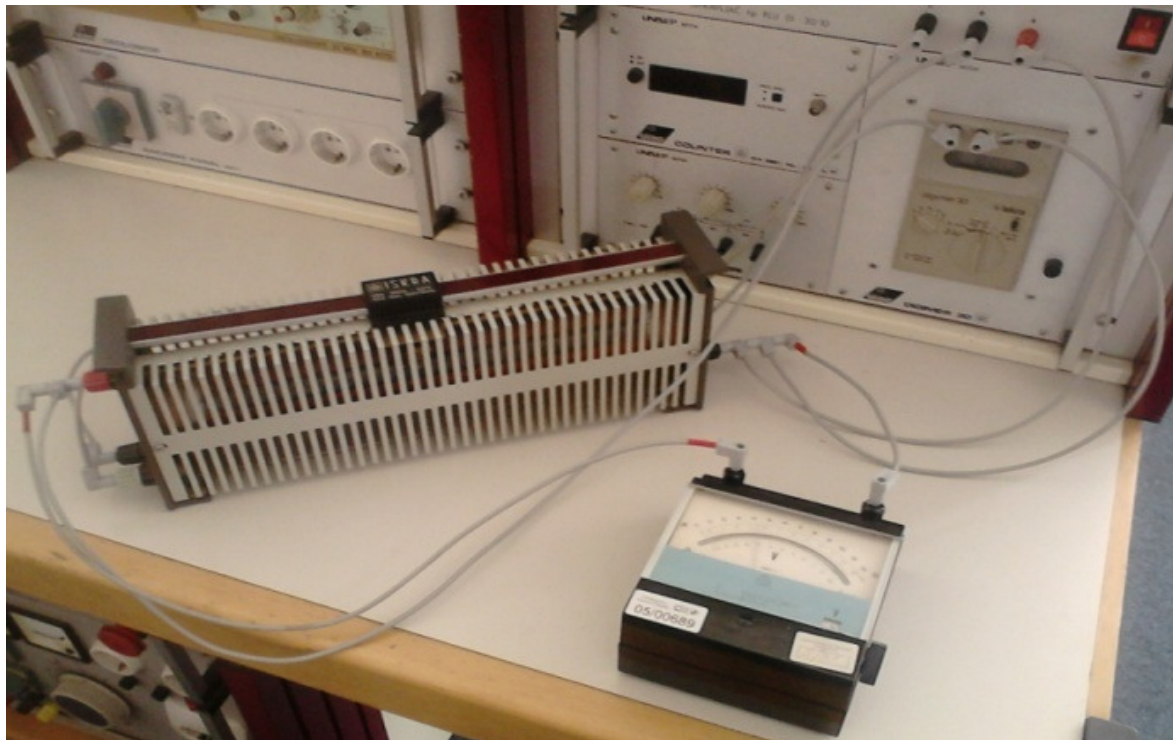
5.3.4. Начин извођења вјежбе

Потребно је спојити електричну шему са слике 5.7. на следећи начин:

- 1) Изабрати елементе потребне за дато коло, а који су већ наведени у поглављу 5.3.3.
- 2) Елементе на радном столу распоредити као на шеми. Ово је првенствено важно ради лакшег спајања и контролисања електричне шеме.
- 3) Кабловима за спајање повезати елементе у електрично коло и сачекати потврду асистента да је све исправно повезано.

Мјерно подручје (мјерни опсег), на коме желимо еталонирати волтметар, подесити да буде испод 20 V (пожељно би било изабрати први мјерни опсег мањи од 20 V). Напон извора подесити на 20 V. Помоћу регулационог отпорника мијењати вриједност напона на волтметрима, тако да она варира од минималне до максималне, за дати мјерни опсег. Вриједност напона читавати на еталонском волтметру и упоређивати са вриједношћу еталонираног волтметра. Извршити најмање 10 мјерења.

На слици 5.8. приказан је практичан начин спајања електричне шеме са слике 5.7., на мјерном опсегу 12 V.



Слика 5.8. Изглед повезане шеме са слике 5.7.

5.3.5. Питања и задаци

- 1) Извршити 10 мјерења за различите вриједности напона на једном мјерном опсегу.
- 2) Израчунати вриједности за ΔX , δ_r , κ , γ и вриједности уписати у табелу 5.4.

Табела 5.4 Примјер табеле за уношење резултата при еталонирању волтметра

Редни број мјерења	V_x			V_e	ΔX [V]	δ_r [%]	κ [V]	γ [%]
	k_x [V/pod]	α_x [pod]	V_x [V]	V_e [V]				
1.								

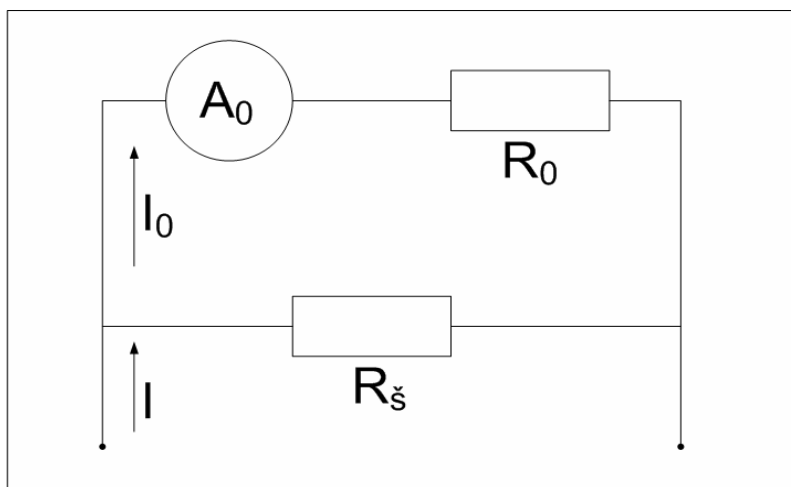
- 3) Објаснити шта значе и како се примјењују прорачуном добијене вриједности константи ΔX , δ_r , κ и γ ?
- 4) Продискутовати да ли је испитивани волтметар на анализираном мјерном опсегу у назначеној класи тачности.
- 5) Објаснити како се врши мјерење помоћу аналогног мјерног инструмента, са посебним освртом на начин читавања мјерене вриједности напона.
- 6) Коментарисати различите скале на мјерном инструменту, објаснити поступак читавања вриједности мјерене величине када крајњи досег скале не одговара подешеном мјерном опсегу.
- 7) Са коришћеног инструмента очитати класу тачности и податак о врсти инструмента. Коментарисати остале назначене симболе.

5.4. Вјежба број 4 – Проширивање мјерног опсега амперметра

5.4.1. Циљ вјежбе и теоријска подлога

У електричним мјерењима се често јавља потреба, да мјерним уређајем (амперметар или волтметар) мјеримо вриједност неке величине, која је већа од максималног мјерног опсега посматраног инструмента. У оваквим ситуацијама је потребно извршити проширење мјерног опсега посматраног инструмента. У овој вјежби се анализира начин проширивања мјерног опсега амперметра, а у следећој начин проширивања мјерног опсега волтметра.

Проширивање мјерног опсега амперметра се врши, тако што се паралелно амперметру прикључи отпорник (шант), као што је приказано на слици 5.9. На овај начин се прави струјни раздјелник, тако да се инструментом мјери смањена вриједност струје у колу.



Слика 5.9. Проширивање мјерног опсега амперметра

Са слике 5.9. видимо да је:

$$I_0 \cdot R_0 = (I - I_0) \cdot R_{\text{ш}} \quad (5.4)$$

одакле слиједи израз за потребни отпор шанта:

$$R_{\text{ш}} = \frac{R_0 \cdot I_0}{I - I_0} \quad (5.5)$$

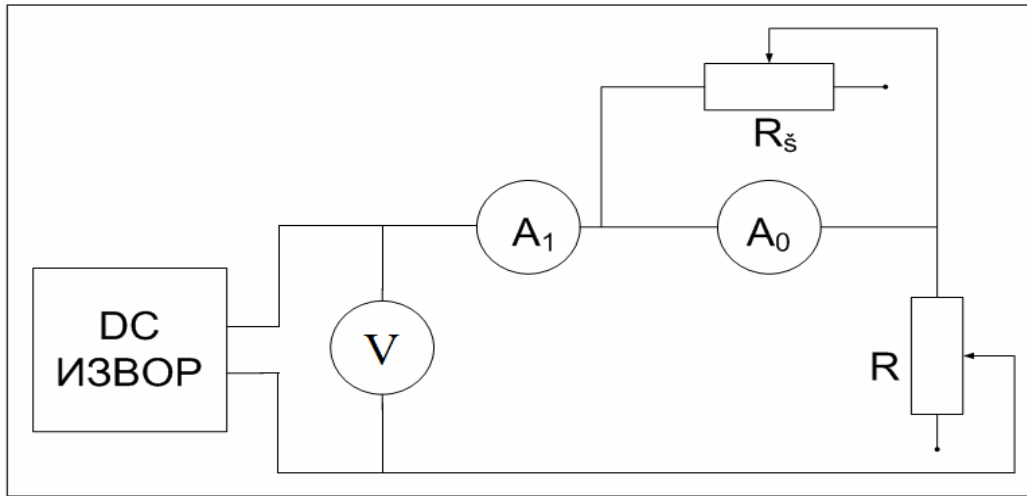
гдје су: R_0 - унутрашња отпорност амперметра и њу је потребно измјерити прије почетка рада (типично износи 1 Ω до 3 Ω за амперметре који се користе у лабораторији за електрична мјерења),

I_0 - максимална струја коју амперметар, чији мјерни опсег проширујемо, може да мјери.

I - струја коју је потребно измјерити.

5.4.2. Шема спајања

На слици 5.10. приказана је електрична шема, која се користи приликом проширивања мјерног опсега амперметра.



Слика 5.10. Електрична шема која се користи приликом проширивања мјерног опсега амперметра

5.4.3. Попис опреме

За дату лабораторијску вјежбу потребни су следећи инструменти:

- 1) Једносмјерни извор напајања,
- 2) Волтметар (V) за контролу вриједности напона напајања,
- 3) Дигитални амперметар (A_1) који има већи мјерни опсег,
- 4) Амперметар (A_0), који има мјерни опсег 10 mA,
- 5) Регулациони отпорник 600 Ω , 0,53 A или 1000 Ω , 0,57 A (R),
- 6) Отпорна декада (R_s) подјеле 1 Ω .

5.4.4. Начин извођења вјежбе

Потребно је спојити електрично коло према шеми са слике 5.10. на следећи начин:

- 1) Изабрати елементе потребне за дато коло, а који су већ наведени у поглављу 5.4.3.
- 2) Елементе на радном столу распоредити као на слици 5.11. Ово је првенствено важно ради лакшег спајања и контролисања електричне шеме.
- 3) Кабловима за спајање повезати елементе у електрично коло и сачекати потврду асистента да је све исправно повезано.

Напон напајања поставити на вриједност од 10 V. За свако мјерење подешавањем вриједности отпорника R потребно је регулисати вриједност струје у колу. Вриједност подешене струје читавати са амперметра A_1 . Амперметар мјерног опсега $I_0 = 10$ mA прилагодити за мјерење струја $n \cdot I_0$, гдје је $n = 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 13$ и 15. За сваку задату вриједност струје I_1 израчунати вриједност шанта према изразу (5.5). Подесити вриједност шанта тако да одклон на амперметру A_0 буде максималан. Записати подешену вриједност шанта под називом R_s' јер се поређењем израчунате и подешене вриједности отпора шанта рачуна грешка мјерења. Подешене вриједности струје I_1 потребно је поредити са вриједностима добијеним из следеће једначине:

$$I_1 = \frac{R_0 \cdot I_0}{R_s'} + I_0 \quad (5.6)$$

На овај начин се такође може добити увид у величину начињене грешке у току мјерења. На слици 5.11. приказан је практичан начин спајања електричне шеме са слике 5.10.



Слика 5.11. Спојена електрична шема са слике 5.10.

5.4.5. Питања и задаци

- 1) Израчунати отпорност шанта R_s и подешену вриједност струје I . Измјерити унутрашњу отпорност амперметра R_0 , очитати нову вриједност отпорности шанта R_s' и израчунати вриједност струје I_1 . Израчунати релативну грешку мјерења. Све резултате уписати у табелу 5.5.

Табела 5.5. Примјер табеле за уношење резултата мјерења при проширивању струјног мјерног опсега

Редни број мјерења	I_0 [A]	R_s [Ω]	R_s' [Ω]	I [A]	I_1 [A]	δ_r [%]
1.						

- 2) На располагању су два амперметра мјерних опсега 10 mA и 1 A. Потребно је измјерити струју вриједности 100 mA. Да ли оба амперметра могу измјерити задату струју директно? Објаснити?
- 3) Зашто је у неким ситуацијама потребно везати шант у коло амперметра? Како се веже шант?
- 4) Ако се отпорност шанта повећа, вриједност струје кроз амперметар A_0 ће бити мања или већа? Шта се дешава, за поменути случај, са струјом кроз амперметар A_1 ?
- 5) Колика је унутрашња отпорност идеалног, а колика реалног амперметра? Зашто амперметар има такву унутрашњу отпорност? Објаснити математички на примјеру једноставног електричног кола!
- 6) Објаснити постојање разлика између вриједности струја I и I_1 , као и разлике између отпорности R_s и R_s' .
- 7) Објаснити узроке настајања грешке и могућности за њено смањење.

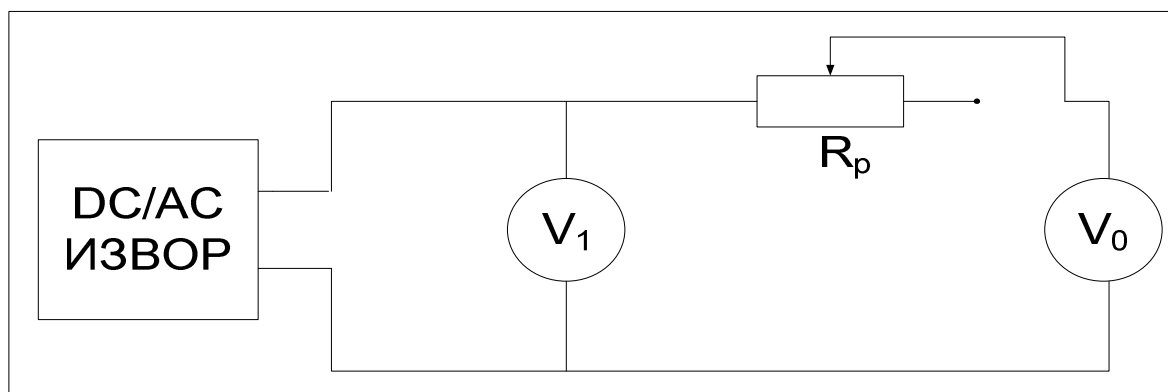
5.5. Вјежба број 5 – Проширивање мјерног опсега волтметра

5.5.1. Циљ вјежбе и теоријска подлога

У пракси се често јавља потреба за мјерењем напона чија вриједност превазилази мјерни опсег волтметра. Да би могли извршити мјерење потребно је проширити мјерни опсег инструмента. Проширење мјерног опсега волтметра се врши тако што се редно (серијски) са волтметром веже отпорник. На овај начин је практично направљен напонски раздјелник тако да волтметар мјери снижену вриједност напона. У случају да на натписној плочици волтметра није наведена његова унутрашња отпорност, прије мјерења је потребно извршити мјерење исте помоћу омметра.

5.5.2. Шема спајања

На слици 5.12. приказана је електрична шема, која се користи приликом проширивања мјерног опсега волтметра.



Слика 5.12. Електрична шема која се користи приликом проширивања мјерног опсега волтметра

5.5.3. Попис опреме

За дату лабораторијску вјежбу потребни су сљедећи инструменти:

- 1) Једносмјерни или наизмјенични извор напајања.
- 2) Дигитални волтметар (V_1) већег мјерног опсега.
- 3) Волтметар (V_0), који има мјерни опсег 2,4 V.
- 4) Отпорна декада (R_p) подјеле $M\Omega$.

5.5.4. Начин извођења вјежбе

Потребно је спојити електрично коло према шеми са слике 5.12. на сљедећи начин:

- 1) Изабрати елементе потребне за дато коло, а који су већ наведени у поглављу 5.5.3.
- 2) Елементе на радном столу распоредити као на слици 5.13. Ово је првенствено важно ради лакшег спајања и контролисања електричне шеме.
- 3) Кабловима за спајање повезати елементе у електрично коло и сачекати потврду асистента да је све исправно повезано.

Након претходних корака потребно је рачунски одредити вриједност унутрашњег отпора волтметра на мјерном опсегу од 2,4 V. Мјерни опсег волтметра је потребно проширити тако да може да мјери напон $n \times V_0$, гдје је $n = 2, 3, 5, 7, 9, 11, 14, 16, 18$ и 20. У случају употребе једносмјерног извора са максималним напоном од 30 V, користити

вриједности $n = 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11$ и 12 . Подешене вриједности напона $V = n \times V_0$ потребно је уносити у табелу 5.5.

За сваку вриједност напона потребно је израчунати вриједност предотпора помоћу једначине:

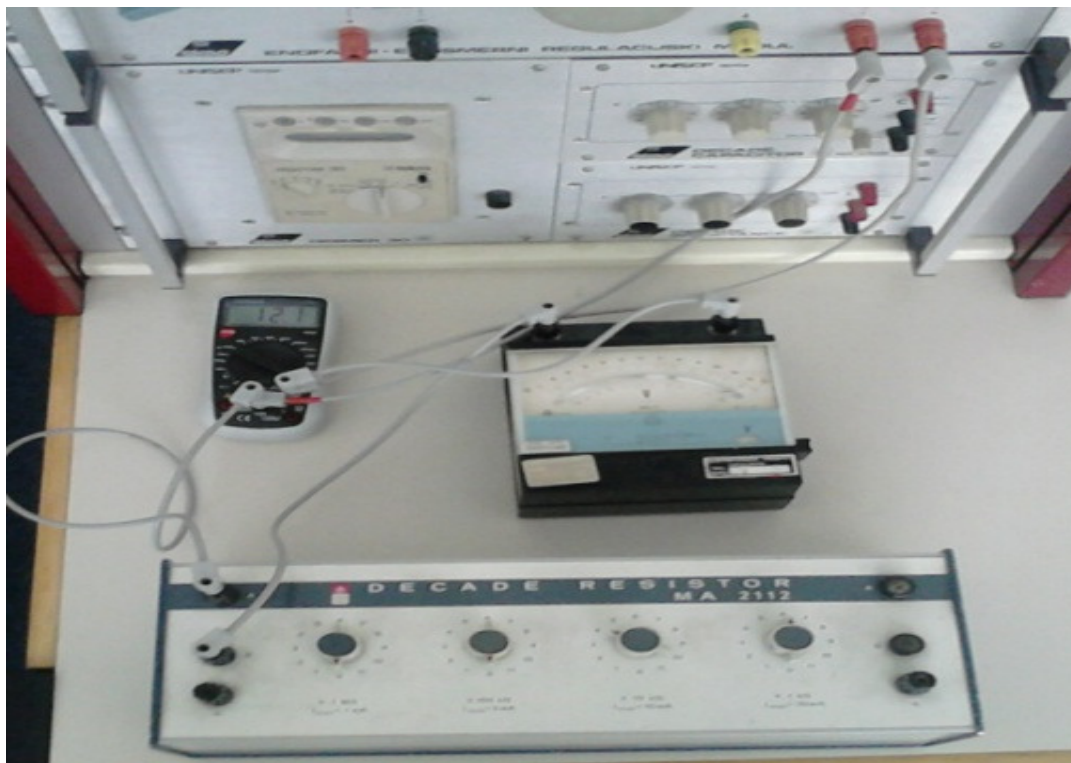
$$R_p = R_0 \cdot (n - 1) \quad (5.7)$$

На отпорној декади је потребно поставити израчунату вриједност предотпора, а затим треба укључити напајање мјерног круга и подизати вриједност напона до жељене вриједности $n \times V_0$. У случају да казаљка волтметра нема пун отклон потребно је, помоћу отпорне декаде, повећати или смањити предотпор док се не постигне пун отклон казаљке. Подешена вриједност предотпора је означена са R'_p . Подешене и израчунате вриједности предотпора треба записивати у табелу 5.5. На основу вриједности предотпора која омогућава пун отклон казаљке (R'_p) потребно је израчунати мјерену вриједност напона помоћу наредних релација:

$$n' = \frac{R'_p}{R_0} + 1 \rightarrow V_1 = V_0 \cdot n' \quad (5.8)$$

Поређењем израчунатих и подешених вриједности предотпора, као и подешених и индиректно мјерених напона V_1 могуће је добити информацију о величини грешке мјерења.

На слици 5.13. приказан је практичан начин спајања електричне шеме, које се користи приликом проширења мјерног опсега волтметра.



Слика 5.13. Спојена електрична шема са слике 5.12.

5.5.5. Питања и задаци

- 1) Израчунати отпорност предотпора R_p и вриједност напона V . Одредити унутрашњу отпорност волтметра R_0 , подешену вриједности предотпора R_p' и вриједност мјереног напона V_1 и резултате уписати у табелу 5.6. Израчунати релативну грешку мјерења.

Табела 5.6. Примјер табеле за уношење резултата мјерења при проширивању напонског мјерног опсега

Редни број мјерења	V_0 [V]	R_p [Ω]	R_p' [Ω]	V [V]	V_1 [V]	δ_γ [%]
1.						

- 2) На располагању су два волтметра мјерних опсега 6 V и 24 V. Потребно је измјерити напон вриједности 12 V. Да ли оба волтметра могу измјерити задати напон директно? Објаснити?
- 3) Зашто је у неким ситуацијама потребно везати предотпор у коло волтметра? Како се веже предотпор?
- 4) Колика је унутрашња отпорност идеалног, а колика реалног волтметра? Зашто волтметар има такву унутрашњу отпорност? Објаснити математички на примјеру једноставног електричног кола!
- 5) Објаснити постојање разлика између вриједности напона V и V_1 , као и разлике између отпорности R_p и R_p' .
- 6) Објаснити узроке настајања грешке и могућности за њено смањење.
- 7) Објаснити због чега се вриједност предотпора R_p рачуна према изразу (5.7)?

5.6. Вјежба број 6 – Мостови једносмјерне струје

5.6.1. Циљ вјежбе и теоријска подлога

Циљ ове лабораторијске вјежбе је да се демонстрира начин мјерења непознатог отпора помоћу Витстоновог моста једносмјерне струје.

Мосне методе мјерења, поред компензационих, представљају најчешће кориштене методе за мјерења различитих величина са великом тачношћу. Мосне методе се могу користити за мјерење:

- 1) Отпорности,
- 2) Индуктивности,
- 3) Капацитивности,
- 4) Активних и реактивних дијелова импедансе,
- 5) Фактор доброте калема,
- 6) Фактор губитка кондензатора и слично.

Мосним методама се могу мјерити и неелектричне величине, које су у директној зависности са електричним величинама.

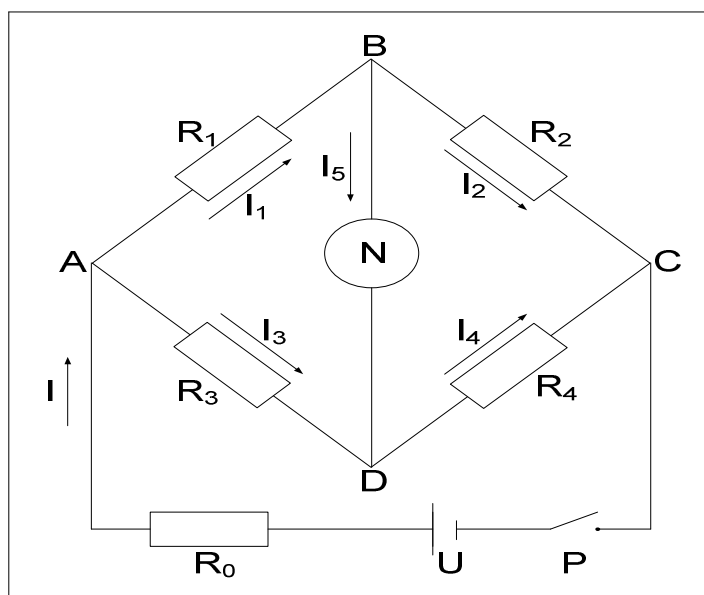
Основе предности мосних метода мјерења су: велика тачност мјерења, висока осјетљивост мјерења, могућност мјерења различитих величина.

Мјерне мостове најједноставније можемо подијелити на:

- Мостове једносмјерне струје,
- Мостове наизмјеничне струје.

Најпознатији једносмјерни мјерни мост, који се користи за мјерење великих и малих отпорности, је Витстонов мост.

Мјерење отпорности Витстоновим мостом представља једну од најтачнијих мјерних метода за мјерење отпорности од десетак ома па до десетине кило ома. Витстонов мост се састоји од четири гране (слика 5.14.), које су спојене тако да се у једној дијагонали моста (B-D) налази нул-индикатор, а у другој дијагонали (A-C) је спојен извор једносмјерног напона (који напаја мост) са својим властитим или неким додатним отпором R_0 . Дијагонала B-D се назива мјерна дијагонала, а дијагонала A-C се назива напојна дијагонала.



Слика 5.14. Шема Витстоновог моста

Ова мосна метода спада у методе поређења јер се међусобно пореде отпори грана унутар моста.

У случају да су познате отпорности отпорника у три гране може се одредити и вриједност непознатог отпора у четвртој грани. Међусобно се изједначавају напони U_{AB} и U_{AD} , као и U_{BC} и U_{DC} . Према начину примјене инструмента (N-нулиндикатор) метода спада међу нулте методе. Као нулиндикатор се најчешће користи волтметар или амперметар, а може се користити и галванометар.

Мост је у равнотежи када нема одклона казаљке нулиндикатора, што значи да је струја $I_5 = 0$, као и то да су потенцијали тачака В и D једнаки, тј. $U_{BD}=0$. То даље значи да су напони напона U_{AD} и U_{AB} међусобно исти, а то важи и за напоне U_{BC} и U_{DC} .

На основу преходно реченог може се констатовати да важе релације:

$$U_{AB} = R_1 I_1 = U_{AD} = R_3 I_3 \quad (5.9)$$

$$U_{BC} = R_2 I_2 = U_{DC} = R_4 I_4 \quad (5.10)$$

С обзиром да је $I_5 = 0$ може се писати да је $I_2 = I_1$ и $I_4 = I_3$, па је:

$$R_1 I_1 = R_3 I_3 \quad (5.11)$$

$$R_2 I_1 = R_4 I_3 \quad (5.12)$$

Количник једначина 5.11 и 5.12 је:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (5.13)$$

Ако је непознати отпор у првој грани $R_1=R_X$, из једначине (5.13), се може писати да је:

$$R_X = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4} \quad (5.14)$$

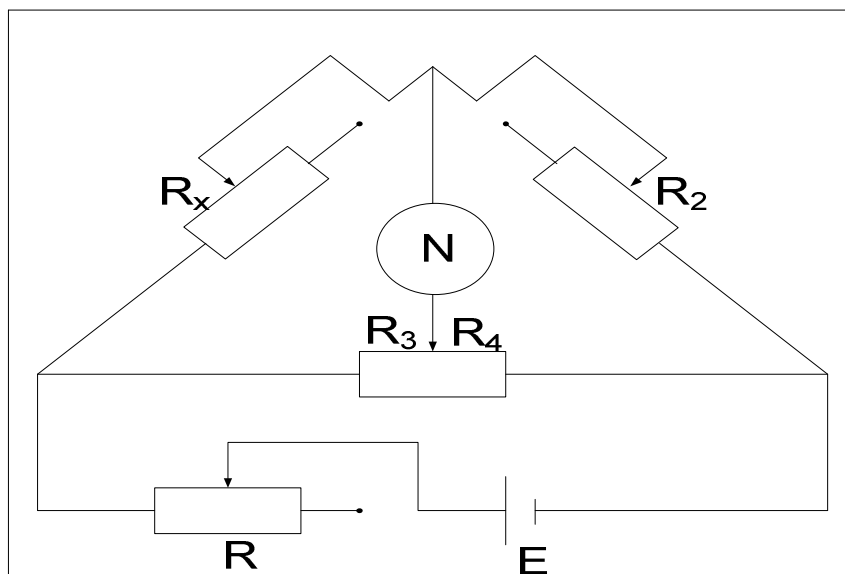
Према врсти отпора који је уграђен у мост принципијелно постоје двије врсте изведбе: жични мост и прецизни лабораторијски мост.

Витстонов мост не можемо користити код мјерења отпорности испод 1Ω , због грешке коју уносе отпори спојних каблова и њихових спојних мјеста. Граница грешке Витстоновог моста је од 0,5% до 2,5%. За мјерења отпорности испод 1Ω користи се Дупли Келвин-Томсонов мост, при чему се врши четвөржично мјерење непознатог отпора.

Битно је још напоменути да услов равнотеже моста није зависан од напона напајања и његове излазне импедансе.

5.6.2. Шема спајања

На слици 5.15. је приказана електрична шема Витстоновог моста једносмјерне струје.



Слика 5.15. Електрична шема Витстоновог моста

5.6.3. Попис опреме

За дату лабораторијску вјежбу су потребни следећи инструменти:

- 1) Извор једносмјерног напона.
- 2) Регулациони отпорник $120\ \Omega$, $1,2\text{ A}$ или $600\ \Omega$, $0,4\text{ A}$, 3 комада (R , R_x , R_2).
- 3) Регулациони отпорник $600\ \Omega$, $0,4\text{ A}$ или $1000\ \Omega$, $0,57\text{ A}$ (R_3 , R_4).
- 4) Волтметар или амперметар (N).

5.6.4. Начин извођења вјежбе

Потребно је спојити електрично коло према шеми са слике 5.15. на следећи начин:

- 1) Изабрати елементе потребне за дато коло, а који су већ наведени у поглављу 5.6.3.
- 2) Елементе на радном столу распоредити као на слици 5.17. Ово је првенствено важно ради лакшег спајања и контролисања електричне шеме. Водити рачуна да је отпорник R_3 и R_4 регулациони отпорник (један елемент).
- 3) Кабловима за спајање повезати елементе у електрично коло и сачекати потврду асистента да је све исправно повезано.

Прикључити коло на једносмјерни извор, и довести мост у равнотежу на следећи начин:

- 1) Подесити отпорност отпорника R_3/R_4 на фиксну вриједност, а мијењати вриједност отпорности отпорника R_2 (извршити 5 мјерења).
- 2) Подесити отпорност отпорника R_2 на фиксну вриједност, а мијењати вриједност отпорности отпорника R_3/R_4 (извршити 5 мјерења).

Мост је у равнотежи када вриједност напона на дигиталном мултиметру буде једнака 0, као што је приказано на слици 5.16. лијево. Улазни једносмјерни напон напајања моста подесити на 10 V , слика 5.16. десно.



Слика 5.16. Вриједност напона нулиндикатора (лијево) и вриједност напона напајања (десно) за случај када је мост у равнотежи

Када је мост у равнотежи, искључити напајање и омметром измјерити отпорности R_2 , R_3 , R_4 и R_X . Помоћу једначине 5.14 израчунати непознату отпорност R_X .

На слици 5.17. приказан је практичан начин спајања електричне шеме за Витстонов мост у лабораторији за електрична мјерења.



Слика 5.17. Витстонов мост у лабораторији за електрична мјерења

5.6.5. Питања и задаци

- 1) Измјерити отпоре у 5 различитих положаја клизача регулационог отпорника R_X (5 мјерења са регулацијом помоћу отпорника R_2 и 5 мјерења са регулацијом помоћу отпорника R_3/R_4).

У табелу 5.7 унијети вриједности отпорности отпорника R_2 , R_3 , R_4 и R_X , измјерене омметром. Помоћу једначине 5.14 израчунати вриједност отпорника R_X и израчунати релативну грешку δ_r између измјерене и израчунате вриједности отпорника R_X .

Табела 5.7. Примјер табеле за уношење вриједности код Витстоновог моста

Редни број мјерења	R_2 [Ω]	R_3 [Ω]	R_4 [Ω]	R_{Xmj} [Ω]	R_{Xrac} [Ω]	$\delta\gamma$ [%]
1.						

- 2) Објаснити узрок настајања разлике између измјерене и израчунате вриједности отпорника R_X .
- 3) За коју врсту мјерења се користи Витстонов мост? Када ћемо за мјерење неке величине користити мосне методе?
- 4) Који уређаји се користе као нулиндикатори и зашто?

5.7. Вјежба број 7 – Мостови наизмјеничне струје

5.7.1. Циљ вјежбе – теоријска подлога

За мјерење непознатих активних отпорности обично се користи једносмјерни мост, а за мјерење индуктивности, међуиндуктивности, капацитивности и фреквенције се користи наизмјенични мост.

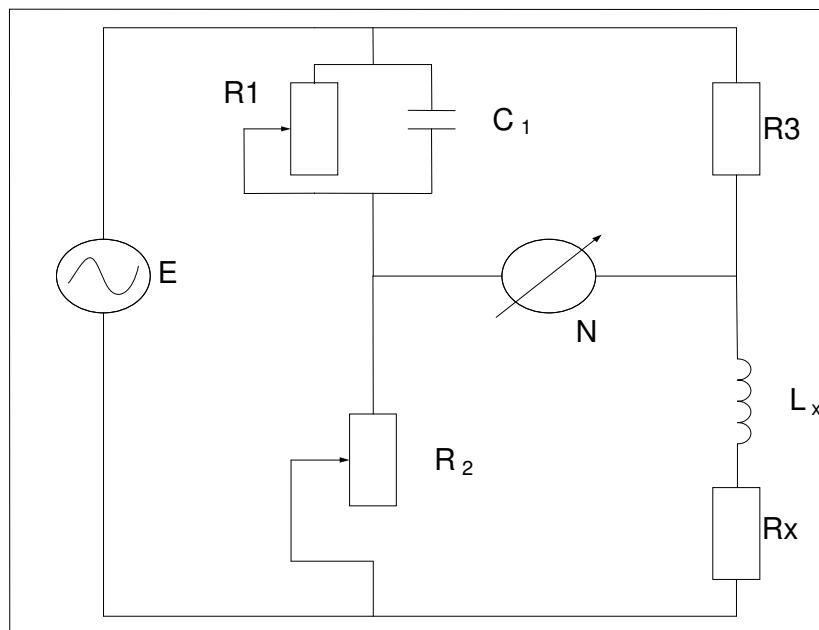
С обзиром на распоред елемената у односу на прикључке генератора и нулиндикатора, мостови наизмјеничне струје се дијеле на симетричне и несиметричне. Код симетричних мостова, генератор и нулиндикатор немају заједнички повезаних прикључака, за разлику од несиметричних мостова код којих постоји заједничка тачка генератора и нулиндикатора.

У области ниских фреквенција користе се калемови без језгра (ваздушно језгро), чији је фактор добротe (Q -фактор) релативно мали, затим калемови са језгром (пригушнице, навоји електромагнета, трансформатори) који имају знатно већи Q -фактор и међусобно спрегнути калемови. Фактор добротe представља однос максималне акумулиране енергије калема и дисипиране енергије и рачуна се помоћу формуле:

$$Q = \frac{\omega L}{R} \quad (5.15)$$

Фактор добротe Q се креће у оспегу од 50 до 100.

За мјерење параметара калемова са малим фактором добротe користи се Максвел - Винов мост чија је типична шема дата на слици 5.18. Ови калемови се представљају редном везом отпорности и индуктивности (L_x и R_x), при чему отпорност представља унутрашњи отпор проводника од које је калем намотан.



Слика 5.18. Максвел - Винов мост

Услов равнотеже Максвел – Виновог моста је:

$$R_{XS} + j\omega L_{XS} = R_2 \cdot R_3 \cdot \left(\frac{1}{R_1} + j\omega C_1 \right) \quad (5.16)$$

одакле се добија да је:

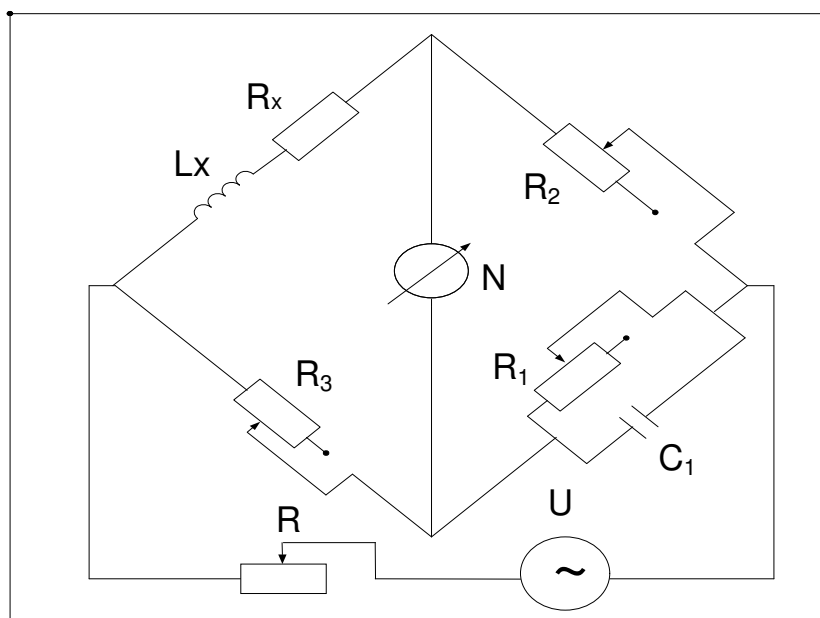
$$R_{XS} = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_3, \quad (5.17)$$

$$L_{XS} = C_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \quad (5.18)$$

$$Q_X = \frac{\omega \cdot L_{XS}}{R_{XS}} = \omega \cdot C_1 \cdot R_1 \quad (5.19)$$

5.7.2. Шема спајања

На слици 5.19. приказана је електрична шема спајања елемената за Максвел - Винов мост наизмјеничне струје.



Слика 5.19. Електрична шема Максвел- Виновог моста

5.7.3. Попис опреме

За дату лабораторијску вјежбу су потребни следећи инструменти:

- 1) Пругушница (L_X).
- 2) Извор наизмјеничног напајања.
- 3) Регулациони отпорник $600 \, \Omega$ или $1000 \, \Omega$ (R_2).
- 4) Регулациони отпорник $230 \, \Omega$ или $600 \, \Omega$ (R_3 и R).
- 5) Регулациони отпорник $20000 \, \Omega$ (R_1).
- 6) Капацитивна декада (C_X).
- 7) Волтметар или амперметар (N).

5.7.4. Начин извођења вјежбе

Потребно је спојити електрично коло према шеми са слике 5.19. на следећи начин:

- 1) Изабрати елементе потребне за дато коло, а који су већ наведени у поглављу 5.7.3.
- 2) Елементе на радном столу распоредити као на слици 5.21. Ово је првенствено важно ради лакшег спајања и контролисања електричне шеме.
- 3) Кабловима за спајање повезати елементе у електрично коло и сачекати потврду асистента да је све исправно повезано. Измјерити унутрашњу отпорност пригушнице R_X (износи неколико Ω).

Када асистент провјери да је електрично коло исправно повезано, потребно је укључити извор напајања и помоћу отпорника R_1 , R_2 и R_3 довести мост у равнотежу. Мост је у равнотежи када вриједност напона на дигиталном мултиметру, који се користи као нул индикатор, буде једнака 0, као што је приказано на слици 5.20. десно. Напон напајања моста, који је приказан на лијевом волтметру на слици 5.20, треба подесити на 10 V.



Слика 5.20. Вриједност напона на мултиметру када је мост у равнотежи

Када је мост доведен у равнотежу, потребно је искључити напајање и са омметром измјерити вриједности отпорника R_1 , R_2 , R_3 и R_X (R_X је константно и довољно га је једном измјерити). Индуктивност пригушнице се може очитати са доње стране постоља пригушнице. Помоћу једначина (5.17), (5.18) и (5.19) потребно је израчунати непознату отпорност, индуктивност и фактор доброт анализираних пригушница.

На слици 5.21. приказан је практичан начин спајања електричне шеме за Максвел – Винов мост у лабораторији за електрична мјерења.



Слика 5.21. Максвел – Винов мост у лабораторији за електрична мјерења

5.7.5. Питања и задаци

- 1) Измјерити отпоре за 4 различите вриједности капацитета кондензатора C_1 . У табелу 5.8. унијети измјерене вриједности отпорности отпорника R_1 , R_2 , R_3 и R_X . Уписати и вриједности капацитета C_1 . Помоћу једначина 5.17, 5.18 и 5.19 потребно је израчунати непознату отпорност, индуктивност и фактор доброте анализираних пригушнице. Израчунати релативну грешку δ_r израчунате и измјерене (прочитане) вриједности отпорности (индуктивности) пригушнице респективно.

Табела 5.8. Примјер табеле за уношење вриједности код Максвел – Виновог моста

Редни број мјерења	R_1 [Ω]	R_2 [Ω]	R_3 [Ω]	C_1 [μF]	R_{XM} [Ω]	R_{XR} [Ω]	L_{XM} [mH]	L_{XR} [mH]	δ_{rR} [%]	δ_{rL} [%]	Q
1.											

- 2) Објаснити узрок настајања разлике између измјерене и израчунате вриједности отпорности и индуктивности R_X и L_X .
- 3) За коју врсту мјерења се користи Максвел-Винов мост? Када ћемо за мјерење неке величине користити мостне методе?
- 4) Који уређаји се користе као нулиндикатори и зашто?
- 5) Зашто се мјерење непознатих отпорности врши једносмјерним, а не наизмјеничним мостом?
- 6) Зашто се мјерење непознатих индуктивности врши наизмјеничним, а не једносмјерним мостом?

5.8. Вјежба број 8 – Мјерење облика сигнала са генератора функција помоћу осцилоскопа

5.8.1. Циљ вјежбе – теоријска подлога

Осцилоскоп је електронски мјерни уређај, помоћу кога се добија највише информација о мјереној величини, јер омогућава регистровање како таласног облика тако и различитих карактеристичних параметара електричних величина. Помоћу осцилоскопа се могу директно мјерити једносмјерни и наизмјенични напон, период, фреквенција и фазни став напона и струја. Може се регистровати изобличење сигнала, вријеме успостављања и вријеме опадања напона и струје, пропади напона и пренапони итд. Детаљан опис осцилоскопа и генератора функција се може наћи у поглављима 4.2.3. и 4.2.4.

Своју веома широку примјену осцилоскоп остварује захваљујући могућности да прикаже таласни облик посматране електричне величине, што даје особи која мјери визуелну информацију о томе како се у времену мијења мјерни сигнал.

Циљ лабораторијске вјежбе је да се студенти упознају са мјерним могућностима и начином рада са осцилоскомпом и генератором функција.

5.8.2. Шема спајања

За извођење ове лабораторијске вјежбе се користе два уређаја, генератор функција и осцилоскоп. Потребно је узети мјерну сонду, приказана на слици 4.9., или коаксијални кабл и повезати излаз генератора функција, IZHOD 600 Ω или IZHOD 50 Ω (у зависности од изабраног спојног кабла), на први канал осцилоскопа.

5.8.3. Попис опреме

За дату лабораторијску вјежбу су потребни следећи инструменти:

- 1) Осцилоскоп МА4070.
- 2) Генератор функција МА3733.
- 3) Сонда или коаксијални кабл.

5.8.4. Начин извођења вјежбе

Потребно је спојити електрично коло према упутству из поглавља 5.8.2. Када асистент провјери да је електрично коло исправно повезано, потребно је укључити генератор функција и осцилоскоп. Након тога је потребно подесити генератор функција, тако да генерише сигнал амплитуде 8 Vpp (8 V је амплитуда сигнала од позитивног до негативног максимума, значи да је амплитуда сигнала 4 V) и фреквенције 50 Hz. Подешавање се врши на следећи начин:

- 1) AMPLITUDA – поставити на 8 Vpp
- 2) PODROČJA - поставити на 10
- 3) FREKVENCIJA HZ - поставити на 5

НАПОМЕНА:

PODROČJA представља фактор множења фреквенције FREKVENCIJA Hz, у нашем случају је то $10 \times 5 = 50$ Hz.

Потребно је подесити осцилоскоп тако да се виде 4 периоде сигнала и да сигнал буде приказан на пуном екрану по Y оси. Да би се то урадило потребно је израчунати хоризонтално и вертикално подешавање осцилоскопа. За овај примјер она износе:

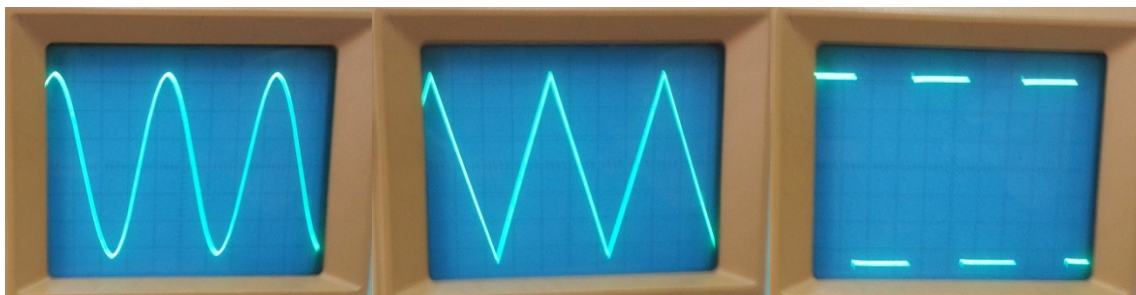
$$\text{хоризонтално подешавање: } \frac{20 \text{ ms} \times 4}{10 \text{ pod}} = 8 \frac{\text{ms}}{\text{pod}}$$

$$\text{вертикално подешавање: } \frac{8 \text{ V}}{8 \text{ pod}} = 1 \frac{\text{V}}{\text{pod}}$$

НАПОМЕНА:

Екран осцилоскопа по X оси има 10 подиока, а по Y оси има 8 подиока.

Након тога је потребно приказати три различита таласна облика сигнала (синусни, троугаони и правоугаони). Таласни облик сигнала се бира помоћу прекидача OBLIKA SIGNALA. На слици 5.22. су приказани снимљени таласни облици синусног, троугаоног и правоугаоног сигнала. Када се на овом осцилоскопу снима правоугаони сигнал виде се само хоризонталне линије, док се вертикалне линије не региструју. Узрок томе је спорост осцилоскопа, тј. мала фреквенцију одабирања. Зато овај осцилоскоп не може да сними брзе прелазне процесе. Због тога се вертикалне линије, које имају велику стрмину, не могу приказати на екрану датог осцилоскопа. Да би могли на осцилоскопу да снимамо брзе прелазне процесе, мора се користити осцилоскоп веће фреквенције одабирања.



Слика 5.22. Таласни облици синусног, троугаоног и правоугаоног сигнала снимљени на осцилоскопу

5.8.5. Питања и задаци

- 1) Скицирати таласне облике сигнала који су снимљени на осцилоскопу. Навести подешавања генератора функција, као и хоризонтална и вертикална подешавања осцилоскопа. Објаснити наведена подешавања!
- 2) Објаснити зашто се приликом приказивања правоугаоног таласног облика на осцилоскопу региструју само хоризонталне линије.
- 3) Навести потребна подешавања генератора функција и осцилоскопа за приказивање сигнала из Табеле 5.9. Скицирати таласне облике сигнала!

Табела 5.9. Примјер табеле за уношење подешених вриједности генератора функција и осцилоскопа

Амплитуда сигнала	Фреквенција сигнала	Приказ осцилоскопа	Израчунате вриједности		Подешавање генератора функција		
			Хориз. подешење	Вертик. подешење	Амплитуда	Подручја	Фреквенција (Hz)
5 Vpp	300 Hz	2 периоде сигнала на 80% екрана по Y ос					
4 Vpp	800 Hz	2.5 периоде сигнала на пуном екрану по Y ос					
10 Vpp	2 kHz	5 периода сигнала на 50% екрана по Y ос					

- 4) Које електричне величине се могу мјерити помоћу осцилоскопа?
- 5) Која је основна предност осцилоскопа у односу на друге мјерне инструменте?

5.9. Вјежба број 9 – Мјерење напона помоћу осцилоскопа

5.9.1. Циљ вјежбе – теоријска подлога

Циљ лабораторијске вјежбе је да се студенти упознају са употребом осцилоскопа за мјерење напона у једноставном електричном колу кога чине напонски извор и отпорник.

5.9.2. Шема спајања

За извођење ове лабораторијске вјежбе се користе следећи елементи, осцилоскоп, извор наизмјеничног напона или извор једносмјерног напона, отпорник и волтметар. За повезивање осцилоскопа у електрично коло се користе или сонда, приказана на слици 4.9., или BNC коаксијални кабл. Регулациони отпорник се повезује на извор наизмјеничног напона односно извор једносмјерног напона. Између клизача и једног фиксног краја отпорника се веже дигитални волтметар, а паралелно њему осцилоскоп. У овом случају волтметар и осцилоскоп мјере исти напон, а волтметар служи да се провјери тачност мјерења амплитуде напона помоћу осцилоскопа.

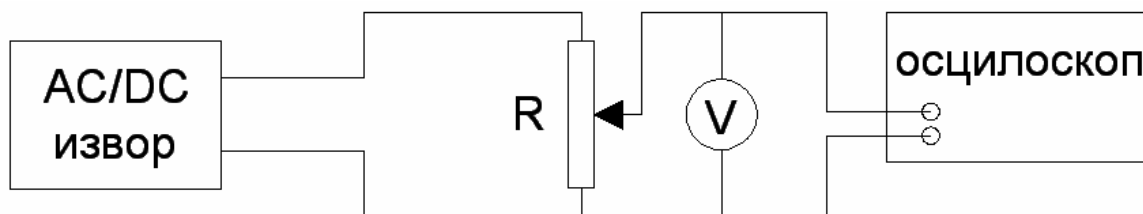
5.9.3. Попис опреме

За дату лабораторијску вјежбу су потребни следећи инструменти:

- 1) Осцилоскоп МА4070.
- 2) Исправљач RLU 01 30/10.
- 3) Регулациони једнофазни модул.
- 4) Промјенљиви отпорник, 120 Ω или 1000 Ω .
- 5) Дигитални волтметар.

5.9.4. Начин извођења вјежбе

Потребно је спојити електрично коло према шеми са слике 5.23.



Слика 5.23. Шема повезивања извора и осцилоскопа

Када асистент провјери да је електрично коло исправно повезано, потребно је укључити извор напона и осцилоскоп. У првом случају се у колу користи извор једносмјерног напона, а у другом случају извор наизмјеничног напона са три различита облика сигнала. На осцилоскопу је потребно снимити таласне облике напона амплитуде: 10 V, 15 V и 20 V. У случају наизмјеничног напона подесити осцилоскоп тако да се снимају 3 пуне периоде сигнала и да се по Y оси сигнал прикаже на пуном екрану.

5.9.5. Питања и задаци

- 1) Скицирати таласне облике сигнала, који су снимљени на осцилоскопу. Навести хоризонтална и вертикална подешавања осцилоскопа. Објаснити наведена подешавања!
- 2) Колико је одступање између вриједности напона, које мјери дигитални волтметар и вриједности напона коју мјери осцилоскоп? Шта је узрок одступања?
- 3) Одредити фреквенцију наизмјеничног напона. Да ли је она једнака 50 Hz или није. Објаснити!
- 4) Да ли је једносмјерни напон временски константан или није. Објаснити!
- 5) Објаснити зашто се осцилоскоп може директно повезати на AC/DC извор (случај када у колу нема отпорника), а да при томе не дође до струјног преоптерећења улазног канала осцилоскопа. Какве везе са тим има улазна импеданса осцилоскопа (износи неколико $M\Omega$)?
- 6) Како би се у електричном колу са слике 5.23. могла мјерити струја примјеном осцилоскопа. Скицирати шему и објаснити! Шта је струјни шент? У којим случајевима се он може примјењивати за мјерење струје у колу, а да грешка мјерења буде занемарљиво мала? Која је алтернативна метода мјерења струје кроз проводник (она се увијек користи код мјерења јаких струја)?

Универзитет у Источном Сарајеву
Електротехнички факултет

Електрична мјерења

Лабораторијска вјежба бр. _____

(назив вјежбе)

Студент: _____

Бр.
индекса: _____

Потпис студента: _____

Датум: _____

Коментар предметног асистента: _____

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Зоран Анђелић, Неда Русанов, Ирфан Турковић, „Лабораторијски практикум за електрична мјерења“, Сарајево, 1991.
- [2] Видојко Раденковић, Владета Миленковић, „Електрична мјерења“, Ниш, 2003.
- [3] Томислав Бродић, „Електрична и електронска мјерења“, Сарајево, 1968.
- [4] Дејан Поповић, Предраг Пејовић „Електрична мјерења“, Београд, 2006.
- [5] Горан Ђукић, Драгутин Саламон, Миодраг Павловић, „Лабораторијске вјежбе из електричних мјерења“, Београд, 2010.
- [6] Срђан Дамјановић, Предраг Катанић, „Програмски језик VEE PRO“, Електротехнички факултет, Источно Сарајево, 2011.
- [7] Иван Жупунски, „Електрична мјерења“, Презентације са предавања - Нови Сад, 2013.
- [8] Зоран Митровић, „Лабораторијски практикум из електричних мјерења“, Нови Сад, 2009.
- [9] http://en.wikipedia.org/wiki/Normal_distribution
- [10] Упутство за употребу – Осцилоскоп МА 4070 Искра, Мерилна електроника Хорјул.
- [11] Упутство за употребу – Функцијски генератор МА 3733 Искра, Мерилна електроника Хорјул.
- [12] Упутство за употребу – RLC-метер МА 4303 Искра, Мерилна електроника Хорјул, 1985.

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна и универзитетска библиотека
Републике Српске, Бања Лука

621.317(075.8)(076)

ПРАКТИКУМ за лабораторијске вјежбе из електричних мјерења /
Срђан Дамјановић ... [и др.]. - Источно Сарајево : Електротехнички
факултет, 2016 (Бијељина : Графика Голе). - 89 стр. : илустр. ; 28 cm

Тираж 200. - Библиографија: стр. 89.

ISBN 978-99976-682-2-6

1. Дамјановић, Срђан, 1971- [аутор] 2. Бањанин, Младен [аутор],
1988- 3. Ђосовић, Маријана, 1972- [аутор] 4. Форцан, Миодраг [аутор]

COBISS.RS-ID 5942552