

**Наташа Божиновска**

**Софија Темкова**

# **ЕЛЕКТРИЧНИ МЕРЕЊА**

**за II година**

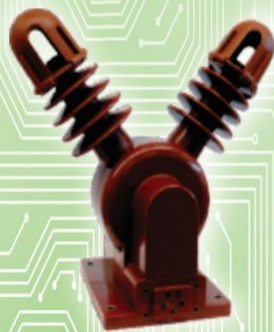
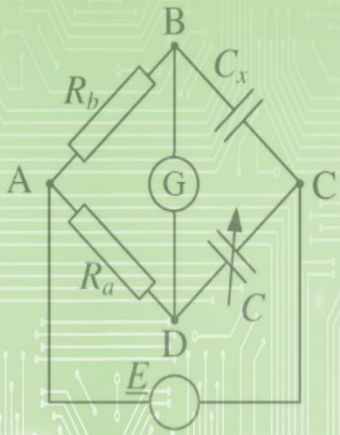
**Електротехничка струка/ сектор електротехника**

**Образовни профили/квалификации**

**Електротехничар за електроника и телекомуникации**

**Електротехничар за компјутерска техника и автоматика**

**Електротехничар енергетичар**



# **ЕЛЕКТРИЧНИ МЕРЕЊА**

за II (втора) година

образовни профили/квалификации  
**Електротехничар за електроника и  
телекомуникации**  
**Електротехничар за компјутерска техника  
и автоматика**  
**Електротехничар енергетичар**

**Електротехничка струка/  
сектор Електротехника**

**ЕЛЕКТРИЧНИ МЕРЕЊА** за II (втора) година  
образовен профил/квалификација Електротехничар за електроника и  
телекомуникации, Електротехничар за компјутерска техника и автоматика,  
Електротехничар енергетичар  
Електротехничка струка/ сектор Електротехника

**Автори:**

Наташа Божиновска  
Софија Темкова

**Рецензенти:**

Маре Србиновска  
Поликсена Митева  
Тони Панов

**Стручна редакција:** Риза Етеми

**Главен уредник:** Наташа Божиновска

**Лектура:** Ивана Коцевска

**Изработка на корица:** Јован Молкоски

**Издавач:** Министерство за образование и наука на Република Северна Македонија,  
ул. „Свети Кирил и Методиј“ бр. 54, 1000 Скопје.

**Графичко и техничко уредување:** Ели Василевска Илиевска – APC СТУДИО

**Печати:** Европа 92 – Кочани

**Тираж:**

**Место и година на издавање:** Скопје, 2024 година

Со одлука за одобрување на учебник по предметот Електрични мерења за II година СТРУКА/СЕКТОР: ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКА/ЕЛЕКТРОТЕХНИКА  
Образовни профили/квалификации: Електротехничар за електроника и телекомуникации, Електротехничар-енергетичар, Електротехничар за компјутерска техника и автоматика, средно стручно четиригодишно образование, бр. 26-572/1 Од 08.04.2024 година, донесена од Национална комисија за учебници.

СIP - Каталогизација во публикација  
Национална и универзитетска библиотека "Св. Климент Охридски",  
Скопје

## ПРЕДГОВОР

Учебникот **ЕЛЕКТРИЧНИ МЕРЕЊА за II (втора) година** е резултат на промените во наставните програми во рамки на проектот за модернизација на техничкото образование. Содржината на учебникот е усогласена со наставната програма за предметот **ЕЛЕКТРИЧНИ МЕРЕЊА за II (втора) година** од средно-стручно образование, од електротехничка струка/сектор Електротехника, за образовните профили/квалификации **Електротехничар за компјутерска техника и автоматика, Електротехничар за електроника и телекомуникации, Електротехничар-енергетичар** од 2019 година. При изработката на учебникот е користен прирачникот „**Концепција за изработка на учебник**“ издаден од Бирото за развој на образованието и „**Концепцијата за модернизација на техничкото образование**“.

За успешно совладување на наставните содржини од овој учебник, потребно е претходно знаење од предметите физика, математика, електротехника и електротехнички материјали. Содржински, учебникот е конципиран во две целини, теоретски дел со примери и задачи и практичен дел-вежби.

Согласно со наставната програма, теоретскиот дел на учебникот е поделен на **6 модуларни единици**.

- 1. Општи поими за електрични мерења.** Во овој модул се објаснети општите поими за мерењето, мерните единици и еталоните на електричните големини, како и мерниот прибор.
- 2. Конструкција и технички карактеристики на електрични мерни инструменти.** На почетокот е опишана конструкцијата на електричните мерни инструменти, потоа е објаснето прикажувањето на резултатите од мерењата, испитниот напон и ознаките на мерните инструменти; објаснети се осетливоста, константата и придружувањето кај мерните инструменти, мерната неодреденост, грешките и точноста на мерните инструменти.
- 3. Електронски мерни инструменти.** Во овој модул се објаснува поделбата на електронските мерни инструменти, употребата на засилувачи во мерната техника, преобразбата на аналогни во дигитални големини, мерниот механизам со вртлива намотка како мерен систем кај електронските аналогни инструменти. Се опишуваат електронските аналогни и дигитални мерни инструменти и мерните постапки, принципот на работа и мерењето со осцилоскоп.

**4. Мерни трансформатори.** Објаснета е конструкцијата, видовите, означувањата, техничките карактеристики и поврзувањето на напонските и струјните мерни трансформатори, како и контролата на означување на нивните приклучни краеви.

**5. Мерни методи за мерење на електрични и неелектрични големини.** Во овој модул се опишуваат постапките за мерење на отпорност и моќност со примена на U-I методата, мерните мостови и компензатори за еднонасочна и наизменична струја и нивната примена, како и мерните преобразувачи на неелектрични во електрични големини: потенциометарски, тензометриски, индуктивни, кондензаторски, пиезоелектрични, термоелектрични, термоотпорнички и дигитални сензори.

**6. Мерни уреди за тестирање на електрични и комуникациски инсталации.** Во овој модул се наведуваат и објаснуваат мерните уреди кои се користат за контрола на електрични и комуникациски инсталации, постапките за испитување на исправност и мерење на карактеристиките на електричните и комуникациските инсталации, како и применувањето на МКС стандардите за оценување на електричните инсталации.

Резултатите од учење се постигнуваат со разработка на соодветните содржини кои се прилагодени на возраста на учениците и нивните психофизички способности. Во секој модул има резимеа кои ги истакнуваат најважните елементи од претходно изложената материја, а на крајот се дадени прашања од различен тип за тематско утврдување на истиот. Некои од модулите заради синтеза на теоретските основи содржат примери со решени задачи, но и задачи за ученикот на крајот од модулот, во зависност од материјалот кој се разработува во нив.

Во изнесувањето на содржините се користени упростени математички операции и голем број слики и електрични шеми, кои треба да овозможат полесно совладување на градивото. Водена е сметка за постепено воведување на нови дефиниции, прашања за проверка на знаењето и задачи, со што се задоволуваат потребните дидактички насоки.

Вежбите овозможуваат практична реализација и испитување на реални шеми и мерења на параметри и карактеристики од содржините на модулите.

Авторите се надеваат дека учебникот ќе одговори на потребите на наставниците по предметната настава, како и на потребата на учениците за усвојување и за утврдување на материјалот.

Авторите изразуваат голема благодарност на претседателот и членовите на рецезентската комисија за подобрување на квалитетот на учебникот.

# КРАТОК ВОДИЧ НИЗ УЧЕБНИКОТ

Секоја модуларна единица  
започнува со клучните поими и  
резултатите од учење

Истакнати важни  
поими и  
информации од  
изучените наслови

ЗАПОМНИ ...

На крајот од секоја  
модуларна единица  
дадени се прашања за  
утврдување на знаењата

## 3. ЕЛЕКТРОНСКИ МЕРНИ ИНСТРУМЕНТИ

Со изучување на содржините од оваа  
модуларна единица, ученикот ќе научи да:

- препознава аналогни и дигитални мерни  
инструменти;

## 4. Мерни трансформатори

Прашања за утврдување на знаењата од  
модуларна единица 4

1. За што служат мерните трансформатори?
2. Објасни како струјните и напонските мерни трансформатори се

За самоевалуација  
даден е тест „Тематско  
утврдување“

## Електрични мерења II година

### ТЕМАТСКО УТВРДУВАЊЕ

I Прашања со заокружување  
(Заокружи ги точните одговори)



1. Пиезоелектричните сензори се уреди за мерење на промена на:  
А) притисок  
Б) температура  
В) отпорност

## ВЕЖБИ

Вежбите овозможуваат  
испитување и  
практична реализација  
на содржините од  
модуларните единици

Општи поими за  
електрични мерења



1

2



Конструкција и  
технички  
карактеристики на  
електрични мерни  
инструменти

Електронски мерни  
инструменти



3

4



Мерни  
трансформатори

Мерни методи за  
мерење електрични и  
неелектрични  
величини



5

6

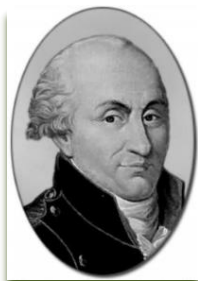


Мерни уреди за  
тестирање на  
електрични и  
комуникациски  
инсталации

# 1. ОПШТИ ПОИМИ ЗА ЕЛЕКТРИЧНИ МЕРЕЊА

Со изучување на содржините од оваа модуларна единица ученикот ќе научи да:

- запишува правилно резултат од мерење;
- искажува разлика меѓу бројна вредност во резултат од мерење и број во математика;
  - објаснува структура на SI систем;
- наведува основни и дополнителни големини и единици на SI систем;
  - дефинира поим еталон;
- набројува елементи на мерен прибор и
  - објаснува потреба од мерен прибор.



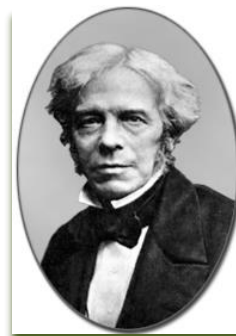
**Кулон (Charles-Augustin de Coulomb)** во 1784-1785 година со мерења дошол до резултати, со чија помош го формулирал Законот за меѓусебното дејство на наелектризираните тела.

**Ерстед (Hans Christian Ørsted)** во 1820 година утврдил дека магнетната игла се завртува од својата нормална положба ако се наоѓа до спроводник низ кој тече струја.



**Ампер (André-Marie Ampère)** во 1820 година со мерења го формулирал Законот за дејство на магнетната сила помеѓу два спроводника низ кои тече струја.

**Фарадеј (Michael Faraday)** во 1831 година со мерења ја открил електромагнетната индукција.



**Ом (Georg Ohm)** во 1827 година со своите мерења докажал дека постои единствена релација помеѓу отпорноста, струјата и напонот.



## 1.1 ОПШТИ ПОИМИ ЗА МЕРЕЊЕТО

**Метрологија** (од грчки: *μετρον* – мерка, *λογος* – наука) е наука за мерењето, односно наука за методите и средствата со кои се обезбедува единство и точност на мерните методи.

Метрологијата опфаќа:

- општа теорија на мерења;
- единици за физичките големини;
- методи за определување точност на мерење;
- методи за мерење физички големини;
- реализација и одржување еталони;
- развој и изработка на мерни уреди;
- обработка и анализа на резултати од мерења;
- осигурува единственост на мерењата.

**Електричните мерења** се дел од метрологијата, која се занимава со општи теоретски прашања на метрологијата, нивна практична примена за мерење електрични големини, како и практична примена при мерење различни неелектрични физички големини со употреба на електрични методи и уреди. Со електричните мерења се овозможува електричните и магнетните големини, кои не можат да се примат преку природните сетила на човекот, објективно да се откриваат и да се оценуваат.

Што е мерење?

**Мерењето е множество експериментални постапки чија цел е да се одреди вредноста на одредена физичка големина.** Основните карактеристики на една големина се нејзината природа (квалитет) и нејзината количина (квантитет). Затоа резултатот од мерењето на една големина се изразува со **бројна вредност** (ни ја дава количината) и со ознака за соодветната **мерна единица** (што ни ја покажува нејзината природа):

$$A = a \cdot A$$

$A$  – мерена големина

$a$  – бројна вредност на мерената големина

$A$ – мерна единица .....(1.1)

[1] Цветан Гавровски „Основи на мерната техника“, ФЕИТ

Со мерењето практично се определува соодносот меѓу вредностите на мерената големина и усвоената единица мерка. Мерната единица е одредена големина, усвоена со договор, за квантитативно изразување на еднородни големини. **Не постои апсолутно точно репродуцирана мерна единица.**

### 1.1.1 МЕРЕЊА И ОСНОВНИ МЕРНИ ПОСТАПКИ

**Мерењето** претставува одредена постапка или процес чија цел е изнаоѓање на вредноста на физичка големина по експериментален пат со помош на специјални технички уреди. Исходот од една мерна постапка е квантитативна оценка за одреден мерен објект, слика 1.1. Резултатот од мерењето се изразува во вид на именуван број.

**Мерниот систем** е целина, која има за цел да ја одреди мерената големина. Таа се остварува со: мерна преобразба (со помош на мерен преобразувач), споредба на мерената големина со еднородна референтна големина (со помош на компаратор) и добивање големина со зададена вредност (со помош на еталон). Резултатот претставува **мерна информација**.

Правилното одвивање на еден мерен процес е преку соодветен мерен систем.



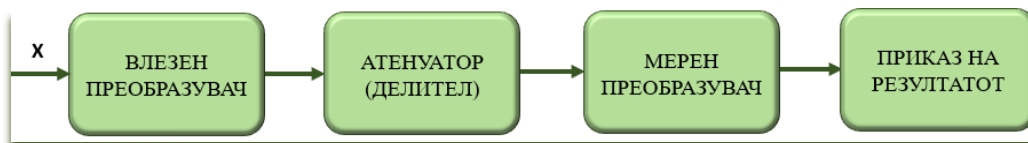
Сл. 1.1: Блок-структура на општ мерен процес

Според начинот на добивање на резултатот за мерената големина и грешките на мерењето, разликуваме две основни мерни постапки: **директни** и **индиректни**.

Мал е бројот на големини што може директно да се измерат. Од големиот број електрични големини само јачината на електричната струја, напонот и моќноста може директно да се измерат. Тоа важи и за мерење временски интервали. Со мерењето на овие четири големини се остварува мерење и на сите други електрични големини.



Од повеќе практични причини, мерењето на многу неелектрични големини се остварува по електричен пат. За оваа цел, неелектричните големини со соодветни преобразувачи се преобразуваат во електрични, а потоа со мерење на електричниот сигнал на излез од преобразувачот се добива резултат, којшто е пропорционален на мерената големина (сл. 1.2).



Сл. 1.2: Блок-структура на аналоген мерен инструмент

## 1.2 МЕРНИ ЕДИНИЦИ НА ЕЛЕКТРИЧНИ ГОЛЕМИНИ

Меѓународниот мерен систем **SI** (*Le Système International d'Unités*) се применува и е во сила и во нашата држава. SI системот се состои од:

- основни мерни единици;
- изведени мерни единици.

Употребата на овие мерни единици е задолжителна, а употребата на други мерни единици претставува исклучок и е регулирана со Законот за мерни единици и мерила. Современиот облик на метричкиот систем заснован е на седум основни и две дополнителни физички големини и единици.

SI системот не е постојан, тој е менлив комплет од стандарди, во кој се создаваат единици и се менуваат дефинициите со меѓународна согласност, соодветно со напредокот на технологијата на мерење.

Во 1875 година во Париз со цел воведување единствен систем на мерни единици е донесена т.н. Метарска конвенција, која ја потпишале 17 земји. Земјите потписнички го основале Меѓународното биро за тегови и мерки **BIMP** (*Bureau International des Poids et Mesures*), како постојан стручен орган со седиште во Париз.

Меѓународното биро за тегови и мерки работи под надзор и управа на Меѓународниот комитет за тегови и мерки **CIMP** (*Comité International des Poids et Mesures*), а највисок орган на Метарската конвенција е Генералната конференција за тегови и мерки **CGPM** (*Conference Generale des Poids et Mesures*).

Во табела 1.1 се дадени основните мерни единици.

Табела 1.1: Основни мерни единици

Основна големина	Основна мерна име	единица ознака
должина	метар	m
маса	килограм	kg
време	секунда	s
јачина на електрична струја	ампер	A
термодинамичка температура	келвин	K
јачина на светлина	кандела	cd
количество на материја	мол	mol

**Основните мерни единици** се определени на следниов начин:

- **Метар (m)** е должина на патеката што ја минува светлината во вакуум за време од  $1/299.792.458$ -ми дел од секундата.
- **Килограм (kg)** е маса еднаква со масата на меѓународниот прототип – еталон за маса.
- **Секунда (s)** е време кое е еднакво на  $9.192.631.770$  периоди на зрачењето кое соодветствува на преодот меѓу две хиперфини нивоа на основната состојба на атомот на  $^{133}\text{Cs}$  (цезиум 133).
- **Ампер (A)** е јачина на постојана електрична струја која, кога се одржува во два рамни паралелни спроводници со неограничена должина и занемарливо мал кружен попречен пресек а се наоѓаат во вакуум на меѓусебно растојание од еден метар, произведува сила меѓу тие спроводници од  $2 \cdot 10^{-7}$  N (Њутни) по m (метар од нивната должина).
- **Келвин (K)** е термодинамичка температура која е еднаква на  $1/273,16$  од термодинамичката температура на тројната точка на водата. (прецизни услови на притисок и температура при кои водата постои во нејзините три фази во рамнотежа - течна, мраз и пареа - се јавуваат на



температура од точно 273,16 К, односно 0,01°C и парцијален притисок на пара од 611,656 Pa, односно 0,00603659 at).

- **Мол (mol)** е количина материја на систем кој содржи толку елементарни единки колку што има атоми во 0,012 kg на  $^{12}\text{C}$  (јаглерод 12).
- **Кандела (cd)** е светлосна јачина на извор, кој во одреден правец емитура монохроматско зрачење со фреквенција од  $540 \cdot 10^{12}$  Hz (херци) и чија енергетска јачина во тој правец е 1/683 W/sr (вати по стередијан).

**Напомена:** Горенаведените дефиниции за килограм, ампер, келвин и мол се сметаат за застарени и дадени се за споредба со денешните, нови дефиниции. Единиците за килограм, ампер, келвин и мол се официјално рedefинирани во SI системот од 2019-та година, а промената е усвоена поради зголемување на прецизноста на резултатите од мерењата за поширок опсег на вредности. Новите дефиниции директно ги поврзуваат овие мерни единици со вредностите на природните константи:

- Килограм (kg) со Планковата константа  $h=6,62607015 \cdot 10^{-34}$  J/s;
- Ампер (A) со елементарното количество електричество  $e=1,602176634 \cdot 10^{-19}$  C;
- Келвин (K) со Болцмановата константа  $k=1,380649 \cdot 10^{-23}$  J/K; и
- Мол (mol) со Авогадровиот број  $N_A=6,02214076 \cdot 10^{23}$  mol<sup>-1</sup>.

**Дополнителните единици** во меѓународниот систем на единици се: единицата за агол во рамнина – **радијан (rad)** и единицата за просторен агол – **стерадијан (sr)**. Со основните единици се формираат изведените мерни единици, дадени во табела 1.2. За електромагнетните големини се потребни основните единици: m, kg, s, A; за топлотните големини: m, kg, s, K; за светлосните големини: m, kg, s, cd и за големините во физичката хемија и молекуларната физика: m, kg, s, mol.

Табела 1.2: Изведени мерни единици

Големина	име на единицата	ознака
фреквенција	херц	Hz
сила	њутн	N
притисок	паскал	Pa
енергија, работа и количина топлина	џул	J
моќност, енергетски флуks и термички флуks	ват	W

количество електричество	кулон	C
електричен напон, електромоторна сила и електричен потенцијал	волт	V
електрична капацитивност	фарад	F
електрична отпорност	ом	$\Omega$
електрична спроводност	сименс	S
магнетен флуks	вебер	Wb
магнетна индукција	тесла	T
индуктивност	хенри	H
светлосен флуks	лумен	lm
осветленост	луks	lx
радиоактивност	бекерел	Bq
доза на јонизирачко зрачење	греј	Gy

Префиксите за поголеми и помали мерни единици се дадени во табела 1.3 и 1.4, соодветно.

Табела 1.3: Префикси за поголеми мерни единици

екса	E	$10^{18}$
пета	P	$10^{15}$
тера	T	$10^{12}$
гига	G	$10^9$
мега	M	$10^6$
кило	k	$10^3$
хекто	h	$10^2$
дека	da	$10^1$

Табела 1.4: Префикси за помали мерни единици

деци	d	$10^{-1}$
центи	c	$10^{-2}$
мили	m	$10^{-3}$
микро	$\mu$	$10^{-6}$
нано	n	$10^{-9}$
пико	p	$10^{-12}$
фемто	f	$10^{-15}$
ато	a	$10^{-18}$



## 1.3 ЕТАЛОНИ ЗА ЕЛЕКТРИЧНИ ГОЛЕМИНИ

**Еталоните** се мерни средства за верифицирање на мерните единици. За да се измери некоја големина, потребно е да се изврши нејзина споредба со усвоена мерна единица за таа големина. Мерењата се поточни доколку со поголема точност е утврдена, односно дефинирана мерната единица. Единиците мора да се што е можно попрецизно утврдени и непроменливи со текот на времето. Основна карактеристика на еден еталон е да може да ја повторува единицата на дадената големина, да може да се пренесува на други мерни инструменти, кои се карактеризираат како секундарни или работни еталони.

**Примарните еталони** служат за репродуцирање на одредена мерна единица со највисоки метролошки особини во дадената научна област. Тие не се користат при директни мерења, туку само за споредување со секундарните еталони.

**Секундарните еталони** се споредуваат со примарните, а потоа служат за проверка на работните еталони (проверка или калибрација).

**Работните еталони** се наменети за заверка и проверка на мерните инструменти.

**Еталоните за електричните големина** се потребни за точни лабораториски мерења, за баждарење на лабораториските инструменти итн. Постојат еталони за **напон, отпорност, капацитивност и индуктивност**.

### 1.3.1 ЕТАЛОНИ ЗА НАПОН

**Вестонвиот еталонски член** се употребува како еталон за еднонасочен напон неколку десетици години. Членовите со многу прецизна обработка, кои се чуваат при константна температура од  $20 \pm 0,001$  °C, се користат во големите метролошки институти како примарни еталони, со отстапување помало од  $\pm 0,0002$  %. Поевтините изработки со отстапување помало од  $\pm 0,01$  % се користат како секундарни и работни еталони во лабораториски мерења.



Сл.1.3 Вестонов  
еталонски член

Вестоновиот елемент е изработен од стаклен сад во форма на буквата Н, при што позитивната електрода ја сочинуваат жива и жива сулфат, а негативната е кадмиум амалгам, над кој има кристали од кадмиум сулфат. Електролитот е раствор на кадмиум сулфат. Електродите се полутечни и затоа се затворени со шупливи плочки кои го спречуваат прелевањето при поместување на елементот. На горната страна членот е затворен со чеп или, пак, е залеан, а на долната страна се залеани платински жици како приклучни електроди.

**Напонскиот еталон со Зенерова диода** е понов и негов најважен елемент е Зенеровата (силициумска) диода, која во спроводна насока има својства на обична диода. Нејзината особеност е во спротивната (неспроводната) насока, во која на почеток струјата многу бавно расте со зголемувањето на напонот, сè до некоја одредена негова вредност, а потоа нагло расте. Тој одреден негативен напон се нарекува Зенеров напон (според научникот кој ја открил оваа појава). Оваа појава е реверзибилна (повратна).



Сл. 1.4: Еталон за еднонасочен напон (FLUKE)



### 1.3.2 ЕТАЛОНИ ЗА ЕЛЕКТРИЧНА ОТПОРНОСТ

Еталоните за електрична омска отпорност мора да имаат голема временска постојаност, што е можно помал температурен коефициент на отпорноста и низок термоелектричен напон спрема бакарот.

За поточни лабораториски мерења се користат еталонски отпорници изработени од жица или лим од манган, но денес се користат и некои други легури.

Во 1864 година единицата на електричната отпорност прв пат ја материјализирал Максвел (Maxwell). Тоа бил жичен отпорник чија вредност била одредена врз база на механичкиот систем на единици.

Основните проблеми во реализацијата на овој стандард биле:

- влијанието на температурата,
- механичката нестабилност на отпорникот,
- тешкотиите во транспортот помеѓу лаборатории.

Поради овие проблеми се барани други решенија, како што е: еталон за отпорност со живин столб со точни димензии итн.

Во 1956 година од страна на Лампард од Австралиската метролошка лабораторија за материјализацијата на отпорничкиот стандард е предложено тој да се реализира преку единицата за капацитивност, односно да се реализира преку еталон на капацитивност. Овој стандард е реализиран во 1968 година од страна на Томсон и е познат како Томсон-Лампардов стандард.

Денес се користат еталони за отпорност како на слика 1.5.



Сл.1.5 Еталон за отпорност

### 1.3.3 ЕТАЛОНИ ЗА ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА

Од метролошка гледна точка, се смета дека ампер не е најдобар избор за основна единица, и тоа од неколку причини:

- дефиницијата на ампер е чисто теоретска,
- вредноста на струја од еден ампер може да се репродуцира единствено експериментално и
- таквиот еталон е стационарен, не е преносен.

Поради тоа е потребно да се материјализираат и другите две електрични единици, кои се независни од единицата на електричната струја: **ВОЛТ** и **ОМ**.

Вредноста на **еден волт** се дефинира како разлика на електричниот потенцијал меѓу две точки во спроводник, кога низ него тече електрична струја од еден ампер и дисипира моќ од еден ват помеѓу тие точки.

Вредноста на **еден ом** се дефинира како електричен отпор помеѓу две точки на спроводник, кога постојаната потенцијална разлика од еден волт во спроводникот предизвикува електрична струја од еден ампер.

### 1.3.4 ЕТАЛОНИ ЗА КАПАЦИТИВНОСТ



Сл.1.6 Еталон за капацитивност

изгледот на еден еталон за капацитивност.

Како **еталони за капацитивност** се користат кондензатори со различни конструкции и различни диелектрици. За помали капацитивности, до 1000 pF, се користат прецизно изработени променливи кондензатори со воздух или масло како диелектрик. А за поголеми капацитивности, до 50000 pF, се користат кондензатори со цврст диелектрик. На слика 1.6 е прикажан изгледот на еден еталон за капацитивност.

Кондензаторите за највисоки напони како диелектрик имаат гас, обично азот, под голем притисок (околу 15at). Капацитивноста на овие кондензатори изнесува 100 pF.



### 1.3.5 ЕТАЛОНИ ЗА ИНДУКТИВНОСТ

**Еталоните за индуктивност** обично се изработуваат од порцеланска рамка на која се намотува намотка со точно определена индуктивност. Таквите еталони се изработуваат во декадски степени од 0,0001 Н до 1 Н со годишна временска постојаност од  $\pm 0,0001$  % до  $\pm 0,0005$  %.

Како **еталони за меѓуиндуктивитети** се користат намотки, кои се изработени така што две жици се намотуваат паралелно во две потполно еднакви намотки, кои лежат една во друга. Се употребуваат за баждарење на флуксметри и балистички галванометри.

**Еталоните за индуктивитети со променлива индуктивност** се изработуваат од две сериски споени намотки чијашто меѓусебна положба може да се менува.



Сл.1.7 Еталон за индуктивност

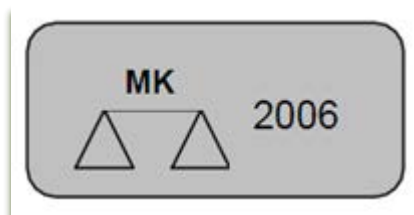
### 1.3.6 ЕТАЛОНИ ЗА ПРОВЕРКА НА МЕРНИ ИНСТРУМЕНТИ

**Еталонот за проверка (калибрирање) на мерните инструменти** за мерење електрични големини е прикажан на слика 1.8. Со него може да се врши проверка на мерните инструменти за следниве електрични големини: еднонасочен напон (VDC), наизменичен напон (VAC), еднонасочна струја (DC), наизменична струја (AC), моќност (POWER), отпорност (RESISTANCE), капацитивност (CAPACITANCE), фреквенција (FREQUENCY).



Сл. 1.8 Еталон-калибратор за мерни инструменти (FLUKE)

Со помош на овој еталон-калибратор се врши калибрирање на мерните инструменти, а секој проверен инструмент што ги задоволува бараните критериуми според важечките стандарди добива жиг-маркичка, со кој се гарантира неговата точност сл. 1.9. Секако дека и овој еталон-калибратор е подложен на периодично калибрирање со меѓународен еталон.



Сл. 1.9: Жиг-маркичка на проверен мерен инструмент

## 1.4 МЕРЕН ПРИБОР

**Мерните уреди** се технички направи со кои се остварува мерниот процес. Тие треба да имаат нормирани метролошки карактеристики. Зависно од намената, може да бидат **елементарни** или **сложени**.

**Елементарните мерни уреди** се наменети за извршување на одделна мерна операција. Тоа се: мерните преобразувачи, уредите за споредување и еталоните.



**Сложените мерни уреди** служат за покривање на целосни мерни постапки. Тоа се: мерни инструменти и мерни системи.

**Мерни инструменти** се технички направи наменети за вообличување на сигналот, кој е носител на мерната информација, во форма достапна за директно примање од страна на корисникот.

Мерните инструменти чии покажувања се непрекината функција на мерената големина се **аналогни**. Тоа се мерни инструменти кај кои показниот дел е со придвижен механизам, на пример, мерен механизам со стрелка. Инструментите кои работат со преобразба на аналогната големина во дискретен сигнал, а резултатот од мерењето се покажува на екран во вид на број, се **дигитални**. Карактеристично за нив е дека немаат подвижни делови и дека даваат мерна информација, која може директно да се обработува со компјутер.

**Мерни системи** се функционални целини од мерни уреди за мерење на повеќе физички големини. Најчесто содржат и склопови за математичка обработка на информацијата, со цел да се добие прикладен сигнал за контрола и управување на истражуваниот објект.

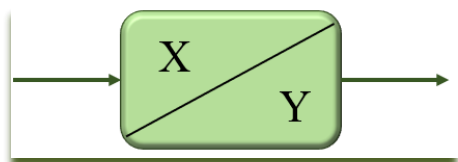
**Мерни преобразувачи** се мерни направи кои со определена точност вршат преобразба на една физичка големина во друга, слика 1.10. Мерните преобразувачи не ја чуваат, ниту, пак, ја репродуцираат мерната единица. Мерните преобразувачи се мерни елементи кои на излез даваат излезна големина во даден сооднос со влезната големина.

Според **физичката суштина** на влезната и излезната големина постојат преобразувачи кои преобразуваат:

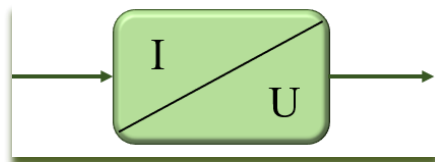
- електрична во електрична големина (слика 1.11);
- магнетна во електрична големина;
- електрична во магнетна големина;
- неелектрична во електрична големина и
- електрична во неелектрична големина.

Според **карактерот на преобразбата**, постојат:

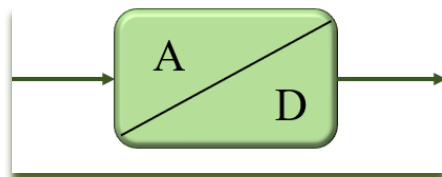
- аналогно-аналогни преобразувачи (A/A);
- аналогно-дигитални преобразувачи (A/D) (слика 1.12);
- дигитално-аналогни преобразувачи (D/A).



Сл. 1.10: Општ мерен преобразувач



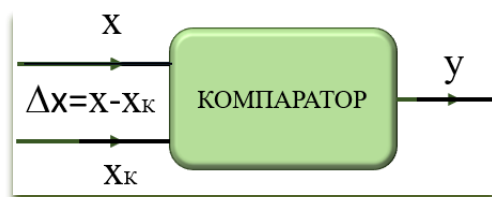
Сл. 1.11: Преобразувач од електрична во електрична големина



Сл. 1.12: Преобразувач од аналогна во дигитална големина

**Уреди за споредување** се активни мерни склопови. Зависно од видот на влезните сигнали може да бидат **аналогни** или **дигитални**. Познати се уште и како **детектори на нееднаквост**. Кога нееднаквоста е разлика меѓу две еднородни големина (напон или струја), детекторот се нарекува **компаратор**.

Како резултат на споредувањето на влезната големина **X** со споредбената **X<sub>к</sub>**, на излезот од компараторот се добива активен сигнал **Y** (сл. 1.13).



Сл. 1.13: Блок-структура на компаратор

Компараторите се електронски склопови изведени со дискретни компоненти или во интегрирана техника. Составени се од засилувачи и тригер коло, кое скоковито ја менува излезната состојба. Најчесто се градат за еднонасочни напони, а многу поретко за еднонасочни струи. За мерни цели компараторите треба да се одликуваат со метролошки карактеристики, односно со голема точност и брзина на работа.



## Научи повеќе\*\*\*

### Законска метрологија

- \* Дел од метрологијата кој се однесува на мерните единици, методите на мерење и мерните инструменти, во поглед на техничките барања и правните прописи, е познат како законска метрологија.
- \* Законската метрологија има за цел да обезбеди јавна гаранција во смисла на сигурност и соодветна точност на мерењата.
- \* Во секоја модерна држава со законската метрологија управува државен орган – национална служба за законска метрологија. Со цел да се оствари компатибилност во производството, науката, трговијата, стопанството, и тоа како на национално, така и на светско ниво, неопходно е да постои единство на мерењата.
- \* Во областа на законската метрологија, на меѓународен план, од особено значење се: Меѓународната организација за тегови и мерки и Меѓународната организација за законска метрологија, преку кои се остварува единството во мерната техника.
- \* Од октомври 1994 година нашата држава е членка на Меѓународната организација за законска метрологија OIML.



- Мерењето е множество експериментални постапки чија цел е да се одреди вредноста на одредена физичка големина.
- Резултатот од мерењето на една големина се изразува со бројна вредност и со мерна единица.
- Според начинот на добивање на резултатот за мерената големина и грешките на мерењето, разликуваме две основни мерни постапки: директни и индиректни.
- Основни мерни единици се метар, килограм, секунда, ампер, келвин, мол и кандела.
- За килограм, ампер, келвин и мол се користат нови дефиниции од 2019-та година.

- Дополнителни мерни единици се единица за агол во рамнина и единица за просторен агол.
- Изведените мерни единици се формираат од основните.
- Еталоните на електричните големини се користат за точни лабораториски мерења, за баждарење на лабораториските инструменти итн. Постојат еталони на напон, отпорност, капацитивност и индуктивност.
- Мерните уреди се технички направи со кои се остварува мерниот процес.
- Мерни преобразувачи се мерни направи кои со определена точност вршат преобразба на една физичка големина во друга.
- Мерни инструменти се технички направи наменети за вообличување на сигналот. Постојат аналогни и дигитални мерни инструменти.
- Мерни системи се функционални целини од мерни уреди за мерење на повеќе физички големини.

## Прашања за утврдување на знаењата од Модуларна единица 1



1. Што е мерење?
2. Кои се основни карактеристики на секоја големина?
3. Што е мерна единица?
4. Која е задачата на мерниот уред?
5. Кои се двете основни мерни постапки?
6. Наведи ги основните мерни единици.
7. Кои се дополнителни мерни единици?
8. Што се изведени мерни единици?
9. Зошто се потребни еталони на електричните големини?
10. Кој елемент се употребува како еталон на напон?
11. Кои елементи се користат како еталони на капацитивност?
12. Што е мерен уред?
13. Како се делат преобразувачите во однос на физичката форма на влезните и излезните големини?
14. Како уште се нарекуваат уредите за споредување?



## ТЕМАТСКО УТВРДУВАЊЕ

### I Прашања со заокружување (Заокружи ги точните одговори)



1. Резултатот од мерењето се нарекува:

- A) мерен систем
- B) мерна информација
- B) мерен уред

2. За мерење електричен напон се користи:

- A) директна постапка
- B) индиректна постапка

3. Ампер е:

- A) основна мерна единица
- B) дополнителна мерна единица

4. Вестоновитот елемент е еталон за:

- A) индуктивност
- B) струја
- B) напон

5. Инструментите кај кои резултатот од мерењето се покажува на екран во вид на број се:

- A) аналогни
- B) дигитални

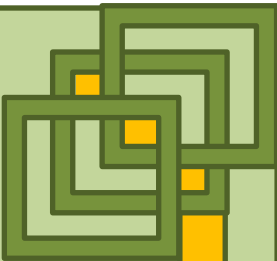
## II Прашања со дополнување

1. Резултатот од мерењето на една големина се изразува со \_\_\_\_\_ и со \_\_\_\_\_.
2. Мерната единица е големина, усвоена со договор, за \_\_\_\_\_ изразување на \_\_\_\_\_ големини.
3. Мерен систем е \_\_\_\_\_, која има за цел да ја одреди \_\_\_\_\_ големина.
4. Неелектричните големини со соодветни \_\_\_\_\_ се претвораат во електрични.
5. Еталоните на индуктивност обично се изработуваат од порцеланска рамка на која се намотува \_\_\_\_\_ со точно определена индуктивност.
6. Мерните инструменти чишто покажувања се непрекината функција на мерната големина се \_\_\_\_\_.
7. Уредите кои откриваат нееднаквост меѓу две влезни еднородни големини се нарекуваат \_\_\_\_\_.




## ЗАДАЧИ

1. Вредноста 3,5 kg изрази ја во грамови.
2. Колку изнесува илјадитиот дел од 1 s?
3. Вредноста на струјата изнесува 5 mA. Изрази ја во ампери.



## **2. КОНСТРУКЦИЈА И ТЕХНИЧКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ЕЛЕКТРИЧНИ МЕРНИ ИНСТРУМЕНТИ**

**Со изучување на содржините од оваа модуларна единица ученикот ќе научи да:**

- ❖ разликува составни делови на мерни инструменти и нивната функција;
  - ❖ разликува видови инструменти според начинот на прикажување резултати од мерење;
  - ❖ разликува видови инструменти според мерената големина;
  - ❖ објаснува чувствителност, константа и придрушување на електрични мерни инструменти;
  - ❖ анализира грешки и точност на мерни инструменти.
- 





## 2.1 СОСТАВНИ ДЕЛОВИ НА ЕЛЕКТРИЧНИ МЕРНИ ИНСТРУМЕНТИ

За мерење на електричните големини – напон, струја, отпорност, капацитивност, индуктивност, фреквенција итн., се потребни **електрични мерни инструменти**. Нивната работа се заснова врз различни појави во електротехниката, т.е. физиката.

**Аналогните електрични инструменти** ја претвораат енергијата која потекнува од електрична или магнетна сила во механичко или топлотно дејство. Најчесто се применува електромеханичкото дејство на електричната струја, при кое електричната струја и магнетното поле создаваат механичка сила. Кај сите мерни инструменти, освен кај вибрациските, се користи механичката сила врз *вртливиот орган* за да се отклони *стрелката* за определен агол, кој е мерило за вредноста на мерената големина.

Под поимот аналоген мерен инструмент се подразбира инструмент кој има **индикатор со стрелка**. Стрелката е прицврстена на вртливиот дел од механизмот на инструментот. Отчитувањето на резултатот е со положбата на стрелката врз градуираната **скала**.

Аналогните мерни инструменти се составени од надворешен и внатрешен дел. Надворешниот дел го сочинуваат куќиштето и стегалките, а внатрешниот дел содржи механизам за задвижување и мерна скала. Механизмот за задвижување се состои од подвижен дел (намотка поврзана со стрелка) и неподвижен дел (магнет или електромагнет).



Сл. 2.1 Составни делови на аналоген мерен инструмент

Магнетно-електричните мерни механизми на аналогните мерни инструменти во комбинација со соодветни **преобразувачи на електрични во електрични големини** можат да мерат повеќе електрични големини – напон, струја, отпорност, итн.

Ако се работи за инструмент за мерење неелектрични големини, влезниот преобразувач го менува видот на влезната големина во електрична големина.

### 2.1.1 СКАЛА НА МЕРЕН ИНСТРУМЕНТ

**Скалата** на инструментот е обележана или нацртана со бројчаник. Се состои од **градуација** и соодветна **нумерација**. Градуацијата ја сочинуваат линиите во бројчаникот на инструментот и овозможуваат да се определи положбата на подвижниот орган од мерниот инструмент. Растојанието меѓу две соседни линии од градуацијата се нарекува **единица на поделба** на скалата.

**Покажувачко подрачје** е должината на скалата на која се набљудува отклонувањето на стрелката. Се изразува во единици на скалата од означената мерена големина.

**Мерно подрачје** е само оној дел од покажувачкото подрачје во кој може да се мери со барана точност. Ограничено е со **долна и горна граница**, кои се означуваат со точки од градуацијата, или, пак, на друг начин, но само ако мерното подрачје се разликува од покажувачкото подрачје, слика 2.2.

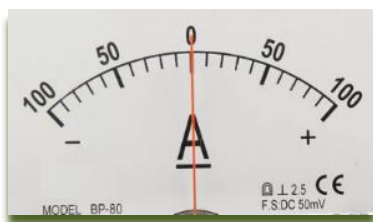


Сл. 2.2 Скала, покажувачко и мерно подрачје



**Максимална вредност** на мерното подрачје е вредност на мерената големина, која се зема како основа при определувањето на прецизноста на мерните инструменти. Максималната вредност се определува на следните начини:

- Ако нулата е на еден од краевите од скалата, максималната вредност е горната граница на мерното подрачје;
- Ако нулата се наоѓа меѓу двата краеве на скалата, на пример, во средина (сл. 2.3), тогаш максималната вредност е еднаква на збирот од апсолутните вредности кои им одговараат на двете граници на мерното подрачје;
- Ако нулата е надвор од скалата, максималната вредност е еднаква на разликата од вредностите кои одговараат на горната и долната граница;
- Максималната вредност кај  $\cos\phi$ -метрите изнесува  $90^\circ$ .



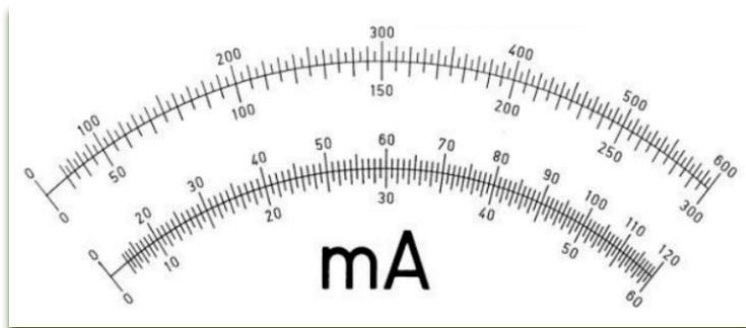
Сл. 2.3 Скала со нула во средина

### Видови форма на скала

Зголемувањето на мерената големина предизвикува зголемување на активниот момент на инструментот. Ова зголемување може да е во форма на права линија или, пак, во некоја крива линија. Ова зависи од изработката на инструментот и неговиот начин на работа.

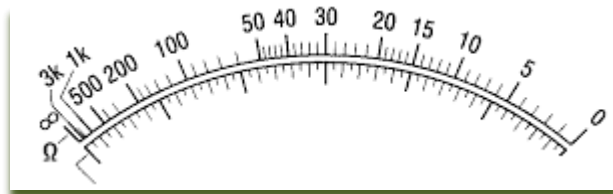
Противмоментот на инструментот, зависно од цврстината на пружината, повеќе или помалку стрмо се зголемува со зголемувањето на активниот момент.

**Линеарна скала** има инструмент, чиј активен момент се зголемува линеарно (без оглед на цврстината на пружината) со зголемувањето на мерената големина, сл. 2.4. Овде растојанието меѓу линиите насекаде е еднакво.



Сл. 2.4 Линеарна скала со повеќе мерни подрачја

**Квадратна скала** има инструмент, чиј активен момент квадратно се зголемува со зголемувањето на мерената големина. Таа е погуста (растојанието меѓу линиите е помало) на почетокот, а поретка (растојанието меѓу линиите е поголемо) кон крајот, сл. 2.5.



Сл. 2.5 Квадратна скала

### 2.1.2 СТРЕЛКИ НА ЕЛЕКТРИЧНИ МЕРНИ ИНСТРУМЕНТИ

Постојат две основни групи на стрелки кај електричните мерни инструменти:

- материјални стрелки,
- светлосни стрелки.



## Материјални стрелки

**Прецизните инструменти** користат материјални стрелки, кои најчесто имаат форма на *нож* (ножести стрелки).

Стрелката е поставена вертикално на скалата и нејзината дебелина изнесува колку дебелината на една линија (црточка) од скалата.

За спречување на грешките во отчитувањето (грешки поради паралакса), на скалата под стрелката е сместено огледало. Отчитувањето на вредноста на мерената големина е точно само кога се совпаѓаат стрелката и нејзината слика во огледалото.

Материјална жичеста стрелка е растегната тенка метална или свилена жица на која има мал бел заслон заради подобар одраз во огледалото.

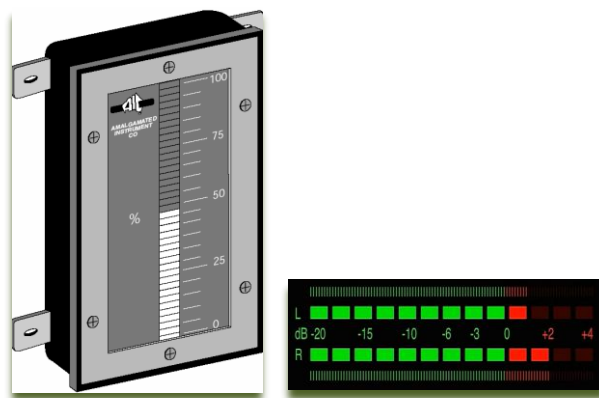
**Погонските инструменти** (инструменти за вградување на приклучни плочи) обично имаат стрелки во форма на *копје*, сл. 2.6. Отчитувањето кај нив не е толку прецизно како кај стрелките со форма на нож, но затоа, пак, отчитувањето може да се врши и од поголема далечина. Кај инструментите со квадратна скала се користат стрелки во форма на палка.



Сл. 2.6 Скала и стрелка на погонски инструмент

## Светлосни стрелки

Светлосна стрелка е светлосен зрак, кој огледалото на вртливиот орган го одбива на скалата што е поставена на одредено растојание, сл. 2.7.



Сл. 2.7 Должина на светлечка праволиниска лента на градуирана скала

Предности на светлосната стрелка во однос на материјалната се:

- Нема маса и не го оптоварува вртливиот орган;
- Должината може да биде поголема;
- Поголема чувствителност на инструментот.

Затоа, светлосните стрелки се користат во галванометрите и во други многу чувствителни инструменти.



- ❖ Аналоген мерен инструмент е инструмент кој има индикатор со стрелка.
- ❖ Сите мерни инструменти, освен вибрациските, содржат вртлив орган, стрелка и магнетно-електрични мерни механизми.
- ❖ Показувачко подрачје е должината на скалата на која се набљудува отклонувањето на стрелката.
- ❖ Мерно подрачје е дел од показувачкото подрачје во кој може да се мери со бараната точност.
- ❖ Скалата кај аналогните мерни инструменти може да биде линеарна и квадратна.
- ❖ Постојат две основни групи на стрелки кај електричните мерни инструменти – материјални и светлосни.

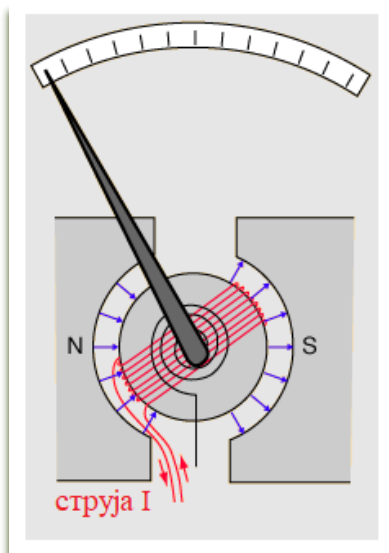


## 2.2 ПРИНЦИП НА РАБОТА НА МЕРНИ ИНСТРУМЕНТИ

За да се заврти стрелката на мерниот инструмент, потребен е **вртлив** или **активен** момент. Електричната големина која се мери мора да влијае врз подвижниот орган. Но тоа не е доволно за моментните големини.

При мерењата во механиката, растегнувањето на пружината одговара на силата со која таа се растегнува, но само додека таа сила не се изедначи со силата со која пружината се спротивставува на растегнувањето, односно кога двете сили се во **рамнотежа**.

Соодветно, кај електричните мерни инструменти е потребна механичка сила која ќе се спротивставува на електричната сила и ќе ја запре стрелката на определената позиција. Оваа сила се нарекува дирекциона



сила, а моментот кој го создава се нарекува **противмомент**. Од оваа причина на подвижниот орган е прицврстена **спирална пружина**, која се растегнува при вртењето на подвижниот орган, што резултира во придвижување за определен агол, кој одговара на мерената големина, сл. 2.8. Стрелката се отклонува до позицијата на која двете сили, односно двата момента се во рамнотежа.

Сл. 2.8 Придвигување на стрелката под дејство на активниот момент и противмоментот

Отклонувањето на стрелката се зголемува пропорционално со зголемувањето на електричната сила. Во случај кога пружината е поцврста, отклонувањето на стрелката е помало за еднаква вредност на мерената големина. И обратно, кога спиралната пружина е потенка и понежна, отклонувањето е поголемо, па во тој случај инструментот е почувствителен.

Спиралната пружина која го создава противмоментот служи и за да ја врати стрелката на почетната позиција, при исклучувањето на инструментот.

## 2.3 ВИДОВИ ЕЛЕКТРИЧНИ МЕРНИ ИНСТРУМЕНТИ

За мерење различни видови електрични големини се користат различни електрични мерни инструменти. Постојат повеќе видови на поделби на електрични мерни инструменти:

1. Поделба на инструментите според **принципот на работа**:
  - Инструмент со вртлива намотка;
  - Инструмент со вртлив магнет;
  - Електродинамички инструмент;
  - Електростатички инструмент;
  - Индукциски инструмент, итн.
2. Според **големината која се мери**, инструментите се делат на:
  - Амперметри (слика 2.9);
  - Волтметри (слика 2.10);
  - Омметри;
  - Ватметри;
  - Фреквенцметри;
  - Електрични броила.
3. Според **типот на струјата** која тече низ инструментот, постојат:
  - Инструменти за еднонасочна струја;
  - Инструменти за наизменична струја;
  - Универзални инструменти.
4. Според **точноста на мерењето** разликуваме:
  - Лабораториски (прецизни) инструменти;
  - Погонски инструменти.
5. Во зависност од **прикажувањето на резултатот** од мерењето разликуваме:
  - Аналогни инструменти (со скала и стрелка), слика 2.11;
  - Дигитални инструменти (со повеќесегментен алфанумерички дисплеј), слика 2.12.

## 2. Конструкција и технички карактеристики на електрични мерни инструменти



Сл.2.9 Аналоген амперметар за еднонасочна струја



Сл.2.10 Дигитален волтметар за еднонасочен и наизменичен напон



Сл.2.11 Аналоген универзален инструмент



Сл.2.12 Дигитален универзален инструмент

## 2.4 ИСПИТЕН НАПОН НА МЕРЕН ИНСТРУМЕНТ

Мерните инструменти се приклучуваат на различни електрични кола заради мерење напони, кои можат да бидат и многу големи, па и опасни. Затоа, според стандардите за производство на инструментите, тие мора да се испитаат. Ова значи дека безбедноста во работата со мерниот инструмент мора да се гарантира за определено напонско мерно подрачје, т.е. инструментот нема да се оштети при работа и дека меѓу приклучните краеве и кукиштето на инструментот нема да се создаде пробив на неговата изолација.

**Испитен напон** е податок кој покажува дека мерниот инструмент е проверен за издржливост од пробив на изолацијата меѓу неговите приклучни краеве и куќиштето. Поради важноста на испитниот напон, овој податок се назначува на скалата на инструментот. Се користи стандардизиран знак – **петокрака**, табела 2.3.

Ако во петокраката е запишан број, тогаш тој број го означува испитниот напон на инструментот во kV. Ако во петокраката не е запишан број, тогаш се подразбира испитен напон од 500 V.

Кај инструментите кои не мора да се испитуваат на пробивен напон, означувањето, исто така, е со петокрака, но во неа се запишува бројот 0.

## 2.5 ОЗНАКИ НА МЕРНИ ИНСТРУМЕНТИ

**Ознаките** на мерните инструменти се симболи кои даваат информација за намената на инструментот, големината која се мери, положбата во која се врши мерењето со инструментот, класата на точност и принципот на работењето.

Ознаките се стандардизирани на светско ниво и го олеснуваат користењето на инструментот. Задолжително се наоѓаат на скалата на инструментот. Всушност, ознаките се кусо упатство за правилна употреба на мерниот инструмент.

Според стандардот, овие ознаки задолжително се наоѓаат на скалата на електричните мерни инструменти. Се запишуваат само најважните ознаки, со помали букви, а останатите мора да се наведат во техничката документација која е составен дел од секој инструмент.

### 2.5.1 ОЗНАКИ КАЈ АНАЛОГНИ ИНСТРУМЕНТИ

Во табелите подолу се дадени ознаките/симболите за мерните единици (таб. 2.1), видот на струјата (таб. 2.2), испитниот напон (таб. 2.3), положбата на инструментот (таб. 2.4) и класата на точност (таб. 2.5).



Број	Име	Симбол	Број	Име	Симбол
A-1	килоампер	kA	A-12	мегавар	Mvar
A-2	ампер	A	A-13	киловар	kvar
A-3	милиампер	mA	A-14	вар	var
A-4	микроампер	$\mu$ A	A-15	мегахерц	MHz
A-5	киловолт	kV	A-16	килохерц	kHz
A-6	волт	V	A-17	херц	Hz
A-7	миливолт	mV	A-18	мегаом	M $\Omega$
A-8	микроволт	$\mu$ V	A-19	килоом	k $\Omega$
A-9	мегават	MW	A-20	ом	$\Omega$
A-10	киловат	kW	A-21	тесла	T
A-11	ват	W	A-22	милитесла	mT

B-1	Еднонасочна	
B-2	Наизменична	
B-3	Еднонасочна и наизменична	
B-4	Трифазна струја (општ изглед)	
B-5	Трифазно коло со несиметрично оптоварување	

C-1	Испитен напон од 500V	
C-2	Испитен напон над 500V (на пример, 2kV)	
C-3	Не се испитува	

D-1	Вертикална положба	
D-2	Хоризонтална положба	
D-3	Под агол (на пример, 30°)	

E-1	Грешка во % од мерно подрачје	1,5
E-2	Грешка во % од должина на скалата	
E-3	Грешка во проценти од вистинската вредност	



- ❖ Стрелката се отклонува до позицијата на која двете сили, односно двата момента се во рамнотежа.
- ❖ Спиралната пружина која го создава противмоментот служи и за да ја врати стрелката на почетната позиција.
- ❖ Постојат повеќе видови на поделби на електричните мерни инструменти: според типот на струјата, мерената големина, принципот на работа, класата на точност и прикажувањето на резултатите.
- ❖ Испитен напон е податок дека мерниот инструмент е проверен за издржливост од пробив на изолацијата меѓу неговите приклучни краеви и куќиштето.
- ❖ Ознаките на мерните инструменти се симболи кои даваат информација за намената на инструментот, мерената големина, положбата на инструментот, класата на точност и принципот на работење.

## 2.6 ЧУВСТВИТЕЛНОСТ НА МЕРЕН ИНСТРУМЕНТ

**Чувствителност** на мерен инструмент се дефинира со големината на аголот  $\Delta\alpha$  за кој се отклонува стрелката кога мерената големина се променила за  $\Delta X$ :

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta X} \dots\dots\dots(2.1)$$

Чувствителноста не е секогаш еднаква за целото мерно подрачје на инструментот. Во случај на мерен инструмент со линеарна скала, чувствителноста е еднаква по целата скала. Но, кога скалата е квадратна, чувствителноста е помала во почетниот дел на скалата, а поголема кон крајот на скалата.

Чувствителноста на мерниот инструмент се менува со **цврстината на материјалот** на спиралната пружина. Чувствителноста се предвидува од аголот, за кој треба да се отклони стрелката. На тој начин се добиваат



инструменти со развлечено подрачје околу вредноста на мерената големина, за која е потребна најголема чувствителност.

На пример, ако е потребна голема чувствителност околу номинален напон 220 V, се избира инструмент со густ почетен дел на скалата, а развлечен околу бараниот напон. Или, пак, кај инструментите за синхронизација, чувствителноста треба да е околу нултата положба на скалата на инструментот.

Чувствителноста на мерниот инструмент зависи и од **потрошената електрична енергија**. Таа зависи од електричната струја во намотката и од падот на напонот на нејзините краеви. И ова не е случај само кај електростатичките инструменти.

Инструментите со голем број навивки и голема внатрешна отпорност имаат голема струјна чувствителност, а помала напонска чувствителност. Овие инструменти се погодни за мерење мали струи.

И обратно, инструментите со мал број на навивки и со мал внатрешен отпор имаат голема напонска чувствителност. Тие се погодни за мерење мали напони, на пример, напони на термоелементите.

*Значи, со промена на бројот на навивки може да се менува и струјната и напонската чувствителност, односно струјното и напонското мерно подрачје.*

Зголемувањето на едната чувствителност повлекува намалување на другата, но само во границите на потрошувачката на енергија на инструментот.

Честа грешка е замена на терминот чувствителност со точност – мерниот инструмент може да е многу чувствителен, но само малку точен или, пак, обратно.

## 2.7 КОНСТАНТА НА МЕРЕН ИНСТРУМЕНТ

Во голем број случаи, скалата на мерниот инструмент е означена со мерните единици на мерената големина. Овие инструменти се изработени за одредено мерно подрачје.

Кај преносните и лабораториските инструменти скалата не е означена, туку е разделена на одреден број на единици, односно **поделоци**. Мерното подрачје се менува со помош на предотпорници, мерни трансформатори итн. Тоа значи дека мерниот инструмент во еден случај може да се употреби за мерење струја, на пример, до 5 А, а во друг случај, на пример, до 50 А. Тогаш се пресметува колку единици одговараат на отчитаниот број поделоци од скалата.

*Константа на инструментот е реципрочната вредност на чувствителноста на мерниот инструмент и се определува така што мерното подрачје се дели со бројот на поделоци на скалата на инструментот (2.2)*

$$K = \frac{\text{мерно подрачје}}{\text{вкупен број поделоци}} \dots\dots\dots(2.2)$$

**Пример 1:** Амперметар со мерно подрачје 45 А има 150 поделоци. Неговата константа изнесува:

$$K = \frac{45}{150} = 0,3 \text{ А/поделок}$$

Потоа, отчитаниот број на поделоци се множи со константата на инструментот и се добива вредноста на мерената големина.

Ако стрелката е отклонета за 10 поделоци, мерената големина изнесува:

$$0,3 \frac{\text{А}}{\text{поделок}} \cdot 10 \text{ поделоци} = 3 \text{ А}$$

Се разбира, ова важи и кај инструментите за останатите електрични големини.



## 2.8 ПРИДУШУВАЊЕ МЕРЕН ИНСТРУМЕНТ

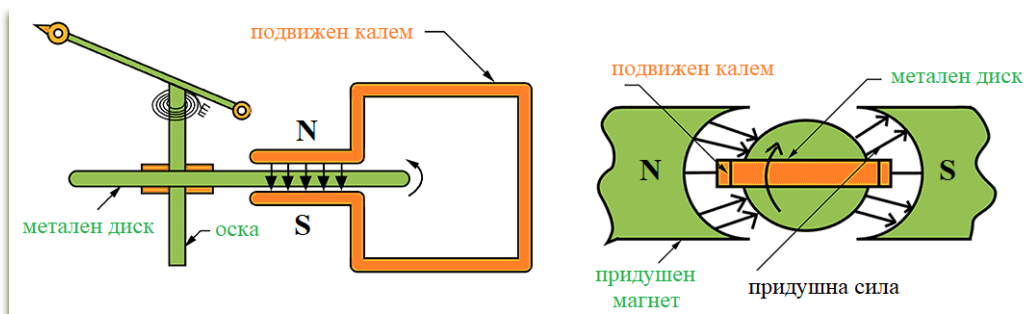
Со приклучување на инструментот на мерената големина, неговата стрелка се отклонува. Ако се измени вредноста на големината, се менува и големината на отклонот на стрелката. Сепак, поради инерцијата на вртливиот орган, стрелката не може веднаш да ја постигне новата положба, која одговара на мерената големина. Таа прво трепери околу новата положба, па вредноста и не може веднаш да се прочита.

Затоа е важно при конструкцијата на инструментот треперењето да биде колку што е можно помало и да се **придуши** за пократко време.

Постојат три вида на придушување:

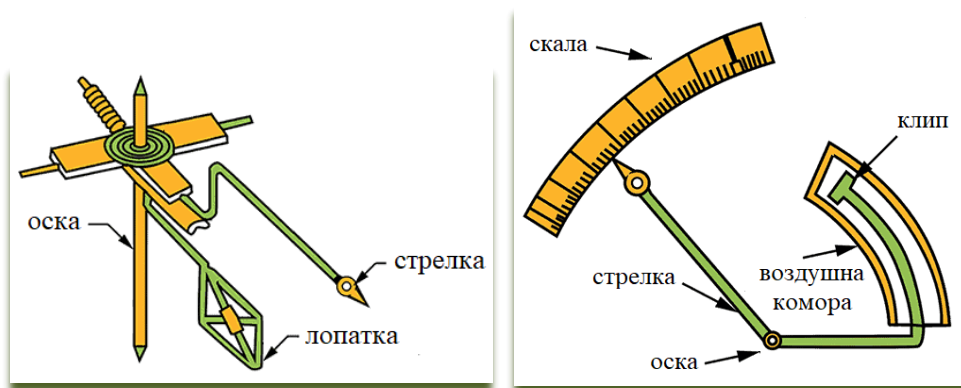
1. Електромагнетно придушување;
2. Воздушно (пневматско) придушување;
3. Придушување со течност.

1. **Електромагнетно придушување.** Користи создавање момент во спротивна насока од активниот момент на мерниот инструмент. Се постигнува со поставување на кусоврзана намотка, метална плоча или парче метал во полето на перманентниот магнет. Оваа постапка се применува кај голем број мерни инструменти за придушување на треперењето на вртливите органи.



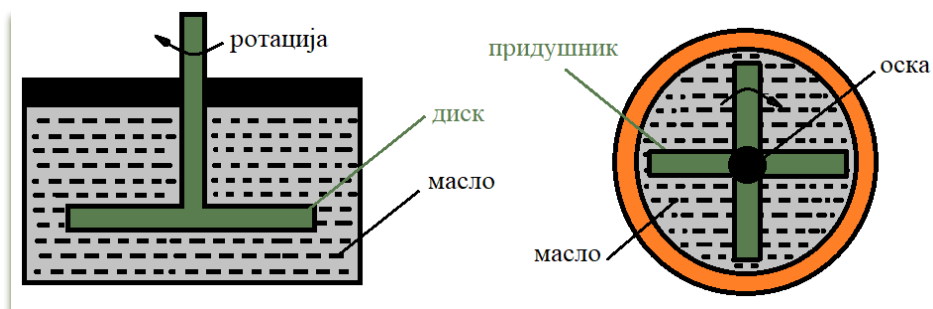
Сл. 2.13 Електромагнетно придушување

2. **Воздушно (пневматско) придушување.** Користи лопатка од алуминиумски лим која се движи во затворено цевче со правоаголен или тркалезен пресек. Поместувањето на стрелката врши поместување и на лопатката. Воздухот не може веднаш да премине од едната на другата страна на лопатката, па некое време е погуст од едната страна. Ова го спречува треперењето на стрелката околу новата положба.



Сл. 2.14 Воздушно придушување

3. **Придушување со течност.** Слично е како кај воздушното придушување, само наместо воздух овде се користат масло или глицерин како придушни средства. Овој вид на придушување се користи само во ретки случаи (на пример, во светлосните осцилографи).



Сл. 2.15 Придушување со течност

**Забелешка:** Придушувањето со течност често се употребувало во минатото, но денес многу ретко се применува.



## 2.9 ТОЧНОСТ НА МЕРЕЊЕ

**Точноста на мерењето** зависи од **прецизноста** на употребените мерни инструменти и апарати, мерната метода, искуството на човекот кој мери и слично. Сепак, при секое мерење постојат **грешки** кои не можат да се одбегнат и кои се појавуваат поради физичката природа на изведбата на инструментите. Се разбира, квалитетот на материјалот во изработката ја одредува и цената на инструментот. Секако, мерењето треба да биде точно, колку што е потребно.

Грешките при секое мерење ја намалуваат точноста на мерењето. Тие не може да се избегнат, но може да се намалат или барем да се земат предвид при обработката на резултатите.

Грешките при мерењето се делат во две групи:

- а) систематски грешки,
- б) случајни грешки.

**Систематските грешки** при мерењето се јавуваат поради грешките на мерните инструменти, неправилно избрана мерна метода, или од субјективна природа. Тоа може да биде: неточно баждарење на инструментот, неточно нацртана скала, стрелката не се наоѓа во нулточката, употреба на инструмент надвор од номиналното подрачје на употреба, итн.

Карактеристично е што тие имаат постојана вредност и предзнак, односно се повторуваат, па токму затоа можат да се земат предвид при обработката на резултатот.

**Случајните грешки** зависат од промените во инструментите и апаратите и од околината. Причините за нивната појава се најразлични и не се повторуваат. Тие немаат постојана вредност и предзнак. Нивното влијание може да се намали само ако мерењето се повтори поголем број пати, а како резултат да се земе средната аритметичка вредност. Тоа би била најверојатната вредност на мерената големина.

## 2.9.1 ГРЕШКИ И ТОЧНОСТ НА МЕРНИ ИНСТРУМЕНТИ

Ниту една физичка големина не може да се измери апсолутно точно. Мерењето може да се изведе со помала или поголема точност, односно погрубо или попрецизно, во зависност од **грешката при мерењето**.

Грешката на мерниот инструмент е **последица од неговите внатрешни карактеристики**. Влијанијата кои предизвикуваат грешка ја намалуваат точноста на мерниот инструмент. Тоа зависи од употребениот материјал и од постапката при изработката и не може целосно да се отстрани.

Грешката на мерниот инструмент зависи од:

- Точноста на градуацијата на скалата;
- Триењето на лежиштата;
- Квалитетот на лежиштата и оската;
- Квалитетот на спиралната пружина;
- Избалансираноста на вртливиот орган;
- Магнетните својства на феромагнетните делови;
- Квалитетот и грешката на вградените предотпорници;
- Квалитетот на елементите за температурна компензација, итн.

Дел од наведените фактори може да се земат предвид при отчитувањето и да се намали влијанието на грешката при мерењето.

Поголем дел од влијанието на овие фактори не може да се утврди и да се отстрани. Токму затоа, секој мерен инструмент има грешка.

Кога станува збор за грешка на мерен инструмент, всушност, може да се работи за еден од следните видови:

1. Апсолутна грешка,
2. Релативна грешка,
3. Процентуална грешка.



**Апсолутна грешка ( $\Delta$ )** е алгебарска разлика меѓу измерената вредност на големината и нејзината точна вредност. Се прикажува во мерната единица на мерената големина или во поделоците на скалата. Оваа грешка може да има позитивен или негативен предзнак.

$$\Delta = \text{измерена вредност} - \text{точна вредност} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\Delta X = X_i - X_t \dots\dots\dots(2.4)$$

Или, може да се каже дека точната вредност е:

$$\text{Точна вредност} = \text{измерена вредност} \pm \Delta \dots\dots\dots(2.5)$$

$$X_t = X_i \pm \Delta X \dots\dots\dots(2.6)$$

Сама по себе, апсолутната грешка не дава претстава за големината на грешката.

**Релативната грешка** е сооднос меѓу апсолутната грешка и точната вредност на мерената големина. Се прикажува како неименуван број.

$$\delta = \frac{\text{апсолутна грешка}}{\text{точна вредност}} \dots\dots\dots(2.7)$$

Најчесто релативната грешка се изразува во проценти, па затоа се нарекува и **процентуална релативна грешка**.

$$\delta = \frac{\Delta X}{X_t} \cdot 100 \% \dots\dots\dots(2.8)$$

Процентуалната грешка најјасно ја прикажува точноста на мерниот инструмент.

**Класата на точност** е метролошка карактеристика. Метролошките карактеристики за сите мерни инструменти се нормирани и важат во т.н. нормални услови за работа, односно при точно определени фактори на влијание – температурата на околината, атмосферскиот притисок, влажноста и сл. Електричните мерни инструменти се стандардизирани според класата на точност.

Постојат **8 класи на точност** на мерни инструменти, таб.2.6:

Гранична процентуална грешка	±0,05%	±0,1%	±0,2%	±0,5%	±1,0%	±1,5%	±2,5%	±5,0%
Класа на точност	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5	5,0

Класата на точност директно влијае врз резултатот и грешките кои настануваат при мерењето. Таа ја означува границата на грешката што ја прави конкретниот инструмент изразена во проценти (табела 2.6). Се назначува на скалата на мерниот инструмент на еден од следните три начини:

1. само број;
2. број запишан во круг;
3. број запишан над знакот √.

За определување на класа на точност, која за даден инструмент се запишува само со број, потребно е прво да се определи апсолутната грешка.

$$\text{класа на точност} = \frac{\text{апсолутна грешка}}{\text{мерно подрачје}} \cdot 100 \% \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

Кај инструментите на чија скала класата на точност се запишува со број во круг, класата се определува на следниот начин:

$$\text{класа на точност} = \frac{\text{апсолутна грешка}}{\text{точна вредност}} \cdot 100 \% \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

А кај инструментите чија класа на точност е запишана над знакот √ (поретко се среќаваат во практиката), таа се определува на следниот начин:

$$\text{класа на точност} = \frac{\text{апсолутна грешка}}{\text{должина на скала}} \cdot 100 \% \quad \dots\dots\dots(2.12)$$



## 2.10 МЕРНА НЕОДРЕДЕНОСТ

Ниту едно мерење не може да биде апсолутно точно. Бројната вредност во математиката претставува точно определена вредност. Но, во мерната техника резултатот од мерењата треба да се сфати како број во определен интервал. При повторливите мерења се добиваат резултати кои се наоѓаат во даден интервал. Овој интервал е познат како **интервал на мерна неодреденост** (measurement uncertainty).

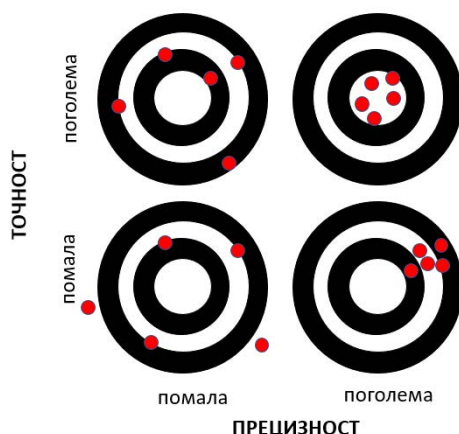
Интервалот на мерната неодреденост, односно квалитетот на мерењето зависи од повеќе фактори:

- мерната метода или постапка;
- точноста на инструментот;
- знаењето на операторот во мерењето, итн.

Со повторување на мерењата, при исти услови (оператор, мерна метода, инструмент, надворешни услови) се добиваат различни резултати. Овие варијации се резултат на случајни процеси кои се причина за мерна неодреденост. Не постои начин оваа последица при мерењето да се избегне. Можно е само да се намали со повторување на мерењата.

**Мерната неодреденост** е квантитативен параметар кој го придружува резултатот од мерењето и го одразува „расфрлањето“, односно дисперзијата на индивидуалните вредности од мерењето околу точниот резултат од мерењето. Сите фактори кои влијаат на резултатот од мерењето се потенцијални причини за неодреденост при мерењето. Со идентификување на овие фактори и проценка на нивните вредности е можно да се подобри постапката на мерење, а со тоа да се намали неодреденоста при мерењето која не може да се претстави со математички модел на појава.

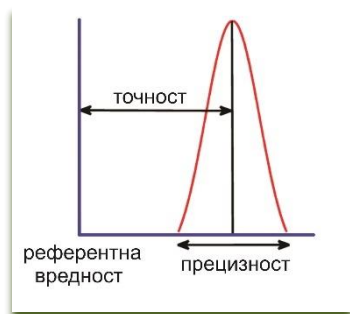
Две важни карактеристики на мерењето се прецизност и точност. Илустрација на двата поима е дадена на слика 2.16. На сликата се прикажани мети во кои гаѓаат четири стрелци. Четвртиот стрелец гаѓа прецизно, но неточно (десно-долу), што одговара на мерење со релативно мала неодреденост при мерење (помало расфрлање на повторените мерења околу резултатите од мерењето), во кои проценката на просечната вредност не е точна и има постојано отстапување.



Слика 2.16 Споредба на прецизност и точност

Спротивно на овој пример, втората мета (десно-горе) е точното и прецизно мерење кое е најпосакуваната ситуација во која неодреденоста на мерењето е релативно мала (нема големо отстапување од точната вредност) и проценката на точната вредност (средна вредност) е релативно добра.

При повеќекратно мерење измерените вредности се натрупуваат



Слика 2.17 Гаусова распределба

околу средната вредност на мерената големина. Доколку натрупувањето е симетрично, во форма на свонче, тогаш распределбата на измерените вредности се нарекува нормална или Гаусова распределба. На слика 2.17 е претставена Гаусова функција (распределба) на густина на веројатност метата да биде погодена во центарот. Под референтна вредност се подразбира точната вредност на мерената големина која одговара на центарот на концентричните кругови од слика 2.16.

Мерењето на неизвесноста ја одредува ширината на интервалот во кој може да се најде измерената вредност со одредена веројатност.

Калибрацијата се дефинира како операција, која под одредени услови, во првиот чекор, ја одредува врската помеѓу измерената вредност и неодреденоста со примена на соодветни стандарди за мерење и индикација, а во вториот чекор информациите од првиот чекор се користат за одредување на резултатот од мерењето, односно за негова корекција.

## 2. Конструкција и технички карактеристики на електрични мерни инструменти



- ❖ Чувствителност на мерен инструмент се дефинира со големината на аголот  $\Delta\alpha$  за кој се отклонува стрелката кога мерената големина се променила за  $\Delta X$ .
- ❖ Константа на мерен инструмент е реципрочна вредност на чувствителноста на мерниот инструмент.
- ❖ Постојат три вида придрушување: електромагнетно, воздушно и придрушување со течност.
- ❖ Мерна неодреденост е квантитативен параметар кој го придружува резултатот од мерењето и ја одразува дисперзијата на вредностите од мерењето околу точниот резултат.
- ❖ Грешките при мерењето се делат во две групи: систематски и случајни.
- ❖ Грешката на мерниот инструмент може да биде – апсолутна, релативна и процентуална.

### **Прашања за утврдување на знаењата од Модуларна единица 2**



1. Што е аналоген мерен инструмент?
2. Од кои делови се состои аналогниот мерен инструмент?
3. Што е задачата на пружината во инструментот?
4. Зошто мора да постои противмомент во инструментот?
5. Наведи ги видовите стрелки на аналоген мерен инструмент.
6. Каква форма имаат стрелките на погонските инструменти?
7. Какви форми на скала постојат?
8. Какво може да биде придрушувањето кај аналогните мерни инструменти?
9. Каква е врската помеѓу константата и чувствителноста на мерниот инструмент?
10. Што е мерна неодреденост?
11. Од што зависи точноста на мерењето?
12. Колку класи на точност има?
13. Што е испитен напон и како се означува?
14. Што се ознаки на инструмент?
15. Што е грешка при мерење?
16. Наведи ги видовите грешки при мерење.
17. Што е разликата меѓу релативна и процентуална грешка?

## ТЕМАТСКО УТВРДУВАЊЕ

### I Прашања со заокружување (Заокружи ги точните одговори)



1. Аналогните мерни инструменти имаат:
  - А) индикатор со цифри
  - Б) индикатор со стрелка
  - В) екран
2. Скалата на мерниот инструмент се состои од:
  - А) нумерација
  - Б) градуација
  - В) градуација и нумерација
3. Кај линеарната скала растојанието помеѓу линиите е:
  - А) насекаде еднакво
  - Б) помало на почетокот
  - В) поголемо на крајот
4. Прецизните инструменти имаат стрелки во форма на:
  - А) копје
  - Б) лента
  - В) нож
5. Светлосната стрелка:
  - А) нема маса
  - Б) има поголема маса од материјалната стрелка
  - В) има помала маса од материјалната стрелка
6. Чувствителноста на мерен инструмент со квадратна скала е:
  - А) поголема на почетниот дел од скалата
  - Б) помала на почетниот дел од скалата
  - В) еднаква по целата нејзина должина
7. Рамнотежа настанува кога активниот момент на пружината е:
  - А) еднаков на противмоментот
  - Б) помал од противмоментот
  - В) поголем од противмоментот



8. Систематските грешки се:

- А) случајни
- Б) со постојана вредност, но променлив предзнак
- В) се повторуваат

9. Поделбата на аналогни и дигитални мерни инструменти е извршена според:

- А) типот на струјата
- Б) прикажувањето на резултатот
- В) мерената големина

10. Ознаката ☆ на мерниот инструмент се користи за:

- А) испитен напон
- Б) еднонасочна струја
- В) константа на инструментот

11. Алгебарската разлика меѓу измерената вредност и нејзината точна вредност се нарекува:

- А) релативна грешка
- Б) процентуална грешка
- В) апсолутна грешка

12. Класата на точност на мерниот инструмент влијае врз резултатот и грешките:

- А) директно
- Б) индиректно
- В) не влијае

## II Прашања со дополнување

1. За мерење електрични големини се потребни \_\_\_\_\_ мерни инструменти.

2. Ако инструментот се користи за мерење неелектрични големини, влезниот преобразувач го менува \_\_\_\_\_ на влезната големина во електрична големина.

3. Зголемувањето на мерената големина предизвикува \_\_\_\_\_ на активниот момент на инструментот.

4. Растојанието меѓу линиите кај линейната скала е \_\_\_\_\_.
5. Стрелката се отклонува до позицијата на која двата момента се во \_\_\_\_\_.
6. Погонските инструменти обично имаат стрелки во форма на \_\_\_\_\_.
7. Испитниот напон се назначува на \_\_\_\_\_ на инструментот.
8. Чувствителноста на мерниот инструмент се менува со \_\_\_\_\_ на материјалот на спиралната \_\_\_\_\_.
9. Константа на мерен инструмент е \_\_\_\_\_ вредност на чувствителноста на инструментот.
10. Мерната неодреденост е квантитативен параметар кој го придружува \_\_\_\_\_ од мерењето.
11. Грешките при секое мерење ја \_\_\_\_\_ точноста на мерењето.
12. Случајните грешки зависат од промените во \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ и \_\_\_\_\_.
13. Грешката на мерниот инструмент е последица од \_\_\_\_\_.
14. Класата на точност \_\_\_\_\_ влијае врз резултатот и грешките кои настануваат при мерењето.



**III Задачи** 1. Волтметар со мерно подрачје 10 V има 20 поделоци. Колку изнесува мерната големина ако стрелката се отклонила за 6 поделоци?

2. На мерен инструмент е приклучена полна батерија од 5 V, а на скалата се отчитува напон од 4,97 V. Пресметај ги:  
А) апсолутната грешка  
Б) релативната грешка  
В) процентуалната грешка
3. Извршени се повеќе мерења за иста големина и поради постоење случајна грешка се добиени следните резултати: 8 A; 7,98 A; 8,03 A; 8,01 A; 7,97 A. Колку изнесува резултатот од мерењето?

### 3. ЕЛЕКТРОНСКИ МЕРНИ ИНСТРУМЕНТИ

Со изучување на содржините од оваа модуларна единица ученикот ќе научи да:

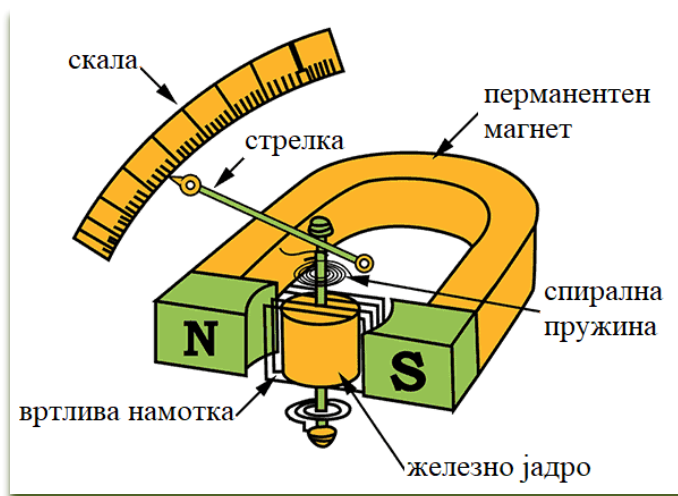
- препознава аналогни и дигитални мерни инструменти;
- објаснува принцип на работа на инструмент со вртлива намотка;
- објаснува принцип на работа, да поврзува и да мери електрични големини со електронски аналогни и дигитални инструменти – волтметар, амперметар, омметар, мултиметар, ватметар и дигитално броило за електрична енергија;
- објаснува принцип на работа на осцилоскоп;
- мери амплитуда, периода и фреквенција со осцилоскоп.





### 3.1 Вовед

За потсетување, електричните мерни инструменти се засноваат врз механичкото дејство на мерената електрична големина врз подвижниот дел на инструментот. Нивниот централен дел е Д'Арсонваловиот елемент, кој не може да се конструира со осетливост поголема од  $50 \mu\text{A}$  на целата скала на инструментот. Д'Арсонваловото движење е појава на движење на вртлива намотка која е поставена помеѓу половите на постојан магнет и прикачена на спирални пружини. Еднонасочната струја која тече низ вртливата намотка произведува вртлив момент на стрелката на скалата.



Сл. 3.1 Електричен мерен инструмент

За мерење струи помали од  $50 \mu\text{A}$  на целата скала од инструментот мора да се примени **засилувач**.

Последните шеесетина години интензивно се работело на развојот на сложени **електронски мерни инструменти** кои содржат активни засилувачки склопови. *Аналогниот електричен инструмент со употреба на активен засилувач се претвора во електронски мерен инструмент со голема чувствителност.* Единствениот недостаток на овие инструменти е вградувањето на дополнителен извор за напојување и, во повеќето случаи, поврзувањето на електрична мрежа.

Електронските мерни инструменти ги имаат следните карактеристики:

- **Голема влезна импеданса**, која е и еднаква за сите напонски мерни опсези;
- Исклучително **голема чувствителност** во широк фреквенциски опсег;
- Многу **мала грешка** при мерењето (се користат и како еталони на електрични големини);
- Постојење на **излезен сигнал** со мерената информација во **дигитална форма**, која е соодветна за компјутерска обработка и примена во автоматиката.

### 3.1.1 ПОДЕЛБА НА ЕЛЕКТРОНСКИ МЕРНИ ИНСТРУМЕНТИ

Основната поделба на електронските мерни инструменти е на **аналогни** и **дигитални**.

**Аналогните мерни инструменти** се карактеризираат со покажувач или излезен сигнал, кој е континуирана функција на мерената големина. Кај аналогниот покажувач оваа функција се реализира со скала и стрелка, така што отклонот на стрелката е пропорционален на мерената големина. Мерената големина се отчитува со бројот на поделоците на скалата.

Електронските аналогни мерни инструменти се одликуваат со многу мала сопствена потрошувачка. Се состојат од **магнетноелектричен мерен механизам** кој служи како покажувач на измерената вредност во комбинација со **електронски засилувач**. Влезната отпорност на оваа комбинација е многу голема, повеќе од 10 МΩ. Овие инструменти мерат електричен напон, а за мерење електрична струја или други електрични големини се користат **преобразувачи** на мерената големина во електричен напон.

**Дигиталните мерни инструменти** датираат од 1953 година и се карактеризираат со дигитален излезен сигнал или нумеричко (бројно) покажување на вредноста на мерената големина.

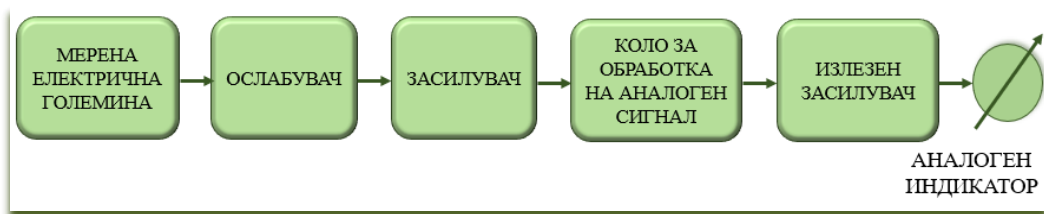


Бидејќи мерените големини обично се од аналоген тип, дигиталните мерни инструменти првенствено мора да извршуваат нивна конверзија, односно да ги претворат **од аналогна во дигитална** форма.

Електронските мерни инструменти се состојат од четири основни склопа:

- Влезно коло
- Коло за аналогна обработка на сигналот
- Мерен индикатор
- Извор за напојување на електронските компоненти

На слика 3.2 и 3.3 се прикажани сите елементи на аналогните и дигиталните електронски мерни инструменти.



Сл. 3.2 Блок-шема на електронски аналоген мерен инструмент



Сл. 3.3. Блок-шема на дигитален мерен инструмент

Ослабувачот (атенуаторот) овозможува да не дојде преголем напон (напон со недозволена вредност) на влезот од засилувачот, односно овозможува инструментот да може да функционира со повеќе мерни подрачја.

**Предности на електронските мерни инструменти во однос на електричните мерни инструменти се:**

- **Едноставното читање на индикаторот:** еднозначноста на отчитувањето подразбира дека секој корисник на резултатот на мерењето ќе го добие истиот мерен резултат.
- **Точност:** дигиталните мултиметри со пониска класа се поточни од аналогните универзални мерни инструменти, со иста цена, за околу 10 пати, односно грешките на мерењето се од ред 0,1 %, наместо од ред 1 %. Сепак, точноста на инструментот зависи и од неговата калибрација.
- **Разложување:** премиот од 5 ½ на 8 ½ дигити кај дигиталните мултиметри значи дека при мерење еднонасочен напон разложувањето опаѓа од 1mV на 10 nV.
- **Брзина на отчитување:** тоа е брзина на промена на резултатот на мерењето на дисплејот и се изразува како број на отчитувања во секунда. Брзината зависи од бројот на дигити, па со намалување на разложувањето се зголемува брзината на отчитување.
- **Број на цифри и надминување на опсегот:** кај дигиталните мултиметри често се врши класификација според максималниот број на дигити кои можат да се прикажат на индикаторот.
- **Стабилност на дигиталните инструменти:** при дигиталните мерења, мерниот податок се содржи во фреквенцијата на мерните импулси, во временскиот интервал или во бинарниот број.
- **Компатибилност (приспособливост) со компјутерот** е карактеристика на дигиталните инструменти која им го обезбедува местото во сите сложени мерни задачи и при реализација на еталоните на електричните големини.

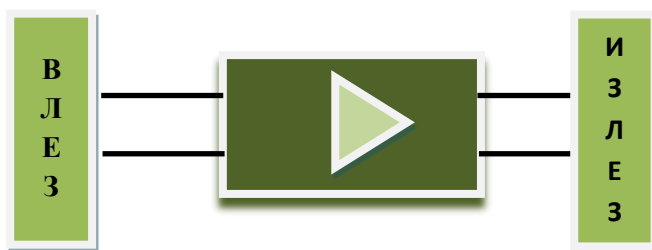
**Недостатоците на поранешните електронски мерни инструменти во однос на електричните мерни инструменти, како што се: непрегледност при истовремено следење на поголем број дигитални инструменти, висока цена, непрегледност на отчитување, сложено одржување и поправка, не се однесуваат на денешната технологија.**



### 3.1.2 МЕРНИ ЗАСИЛУВАЧИ

Карактеристиките на електричните мерни инструменти можат да се подобрат ако електричната големина која се мери се засили со помош на **засилувач**, слика 3.4. На тој начин влезната големина со мала моќност може да се користи за управување на елементи со многу поголема енергија.

Основна улога на мерните засилувачи е да ја засилат мерената големина до нивото кое е потребно за да се изврши квалитетно мерење. Мерните засилувачи, исто така, вршат приспособување на импедансите на мерното коло и на мерниот инструмент.



Сл. 3.4 Мерен засилувач

**Внатрешната отпорност** на мерниот инструмент, односно сопствената потрошувачка не смее да влијае врз мерената големина. Мерните засилувачи, покрај функцијата на засилување, можат да извршуваат и некои други математички операции.

Мерните засилувачи се основни елементи во составот на електронските мерни инструменти, но можат да се употребуваат и како самостојни целини, односно како меѓустепен во мерните кола.

Кога се користат мерните засилувачи мора да се внимава не само на засилувањето на системот, туку и на влијанието на мерниот засилувач врз фазата (аголот) на мерениот сигнал. При мерењето на електрична енергија многу е важно да се зачува точниот фазен агол помеѓу мерените големини напон и струја, за да не дојде до појава на дополнителна грешка.

Основен параметар на мерниот засилувач е **коефициентот на засилување** и се дефинира како однос од излезниот и влезниот напон:

$$A = \frac{U_i}{U_v} \quad U_i - \text{излезен напон} \\ U_v - \text{влезен напон} \dots \dots \dots (3.1)$$

Изразот може да се претстави и како ниво:

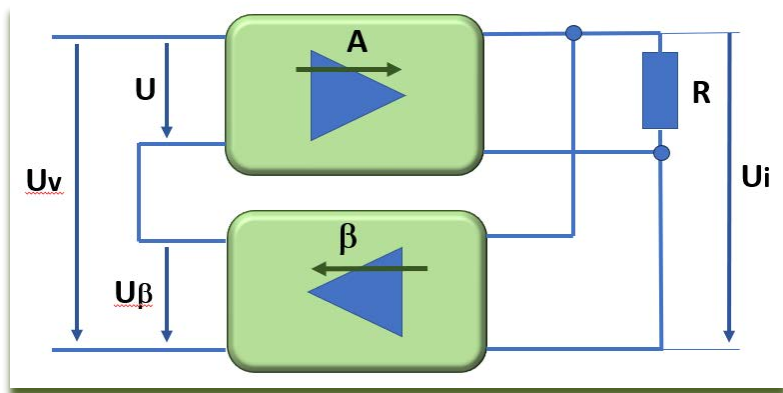
$$A[dB] = 20 \log_{10} A \dots \dots \dots (3.2)$$

односно,

$$U_i = A \cdot U_v \dots \dots \dots (3.3)$$

Врз карактеристиките на реалниот мерен засилувач значително влијаат промените на напонот на изворот за напојување, промената на температурата на околината, и, се разбира, стареењето на компонентите.

Основен начин за да се намалат овие влијанија врз мерниот засилувач и да се обезбеди стабилно засилување е употребата на негативна повратна врска на засилувачот. На слика 3.5 е дадена блок-шема на засилувач со негативна повратна врска.



Сл. 3.5 Блок-шема на засилувач со негативна повратна врска

Кај електронските засилувачи со негативна повратна врска еден дел од излезниот напон преку напонскиот делител од колото за повратна врска повторно се враќа на влезот од засилувачот, со спротивен знак од знакот на влезниот напон. Засилувањето на засилувачот со повратна врска се одредува на следниот начин:



$$A_F = \frac{U_i}{U_v} \dots\dots\dots(3.4)$$

односно, излезниот напон на засилувачот се одредува од изразот:

$$U_i = A_F \cdot U_v = \frac{A}{1 + \beta \cdot A} U_v \dots\dots\dots(3.5)$$

каде што  $\beta$  е коефициентот на повратната врска и изнесува:

$$\beta = \frac{U_\beta}{U_i} \dots\dots\dots(3.6)$$

Изразот  $1 + \beta \cdot A$  во именителот на изразот 3.5 ја претставува јачината на повратната врска и неговата вредност покажува за колку пати се намалува коефициентот на засилувањето.

*Засилувањето на мерниот засилувач со негативна повратна врска зависи само од вредностите на отпорниците во делителот на излезот од засилувачот. Неговата стабилност зависи од стабилноста на коефициентот на повратна врска  $\beta$ .*

*Основен недостаток на овие засилувачи е намалувањето на засилувањето, но затоа, пак, се добива негова стабилност, без која неговата примена во мерните кола не би била возможна.*

### 3.1.3 ПРЕОБРАЗБА НА АНАЛОГНИ ВО ДИГИТАЛНИ ГОЛЕМИНИ

Бидејќи кај дигиталните мерни инструменти резултатот се прикажува како бројна вредност, мерената аналогна големина треба да се преобрази во дигитална, односно да се **дигитализира**.

Аналогната големина во некој интервал може да има бескрајно многу вредности, при што голем број од соседните вредности во тој интервал се со многу слична големина (односно, се разликуваат многу малку).

Големините во дигитален приказ во истиот интервал можат да имаат само **конечен број вредности**, при што разликата меѓу секои две соседни вредности е еднаква. Тоа значи дека прирастот е со постојана вредност и се нарекува **квант**. Очигледно е дека кај дигиталниот приказ на некоја големина постои конечен број кванти.

На пример, ако еден квант одговара на 0,1 V, тогаш напон од 2 V ќе содржи 20 кванти.

Броењето на квантите овозможува да се добие дискретната вредност на некоја големина, а постапката се нарекува **квантизирање**.

$$U_d = N \cdot \Delta U$$

$U_d$  – дискретна вредност на мерениот напон  
 $N$  – број на кванти  
 $\Delta U$  – големината на еден квант.....(3.7)

Се разбира дека вистинската вредност  $U$  и дискретната вредност  $U_d$  не се совпаѓаат, односно постои **апсолутна грешка**, која мора да се ограничи со максимална вредност  $\pm \Delta U$ . Од оваа причина, **релативната грешка** изнесува:

$$\delta_d = \pm \frac{1}{N}$$

.....(3.8)

од каде станува очигледно дека со зголемување на бројот на кванти  $N$ , односно намалување на големината на квантот  $\Delta U$ , релативната грешка ќе биде помала.

Секако, освен грешката во постапката на квантизирање, постојат и грешки од останатите компоненти во мерниот инструмент, коишто влијаат врз вкупната грешка:

- Грешка со константна вредност, независно од мерното подрачје на инструментот,
- Грешка која е пропорционална со вредноста која се прикажува на инструментот.



Затоа, **вкупната апсолутна грешка** се прикажува како:

$$\Delta = \pm(A\%pv + Bdig)$$

$A\%pv$  – грешка во проценти од прикажаната вредност на инструментот

$Bdig$  – збир од грешка од дигитализација и грешка со константна вредност, независна од мерното подрачје.....(3.9)

Вредностите **A** и **B** за секој инструмент се задаваат од производителот.

Преобразбата на аналогната големина во дигитална се остварува со аналого/дигитален преобразувач – **A/Д конвертор**. Конверторите денес се изработуваат во интегрирана технологија. На влезот од конверторот доаѓа аналогната големина која се мери, а на излезот се добива дигитална големина, која е изразена со бројот на кванти. Значи, броењето на квантите дава податок за бројниот еквивалент  $N$ .

Дигиталните мерни инструменти најчесто користат преобразувачи, со кои мерената големина (напонот) се преобразува во временски интервал или фреквенција, па на излезот од A/Д конверторот се добива напон во форма на правоаголни импулси. Овие правоаголни импулси се бројат со **бројач на импулси**, а тоа е, всушност, големината на мерениот еднонасочен напон.

Постојат различни методи на преобразба, но два основни вида се: со **директна преобразба** и со **врамнотежување**.



Сл. 3.6 Блок-шема на дигитален мерен инструмент со директна преобразба

Кај **директната преобразба** (слика 3.6) во блокот **1** се врши **преобразување од неелектричен во електричен облик**, кој потоа се дигитализира во блокот **2, A/Д конверторот**, во кој се врши и броење на квантите  $N$  со **електронски бројач**. Ако мерената големина е со електричен облик, првиот блок не е потребен. Блокот **3, дигитален индикатор**

(дисплеј), го прикажува резултатот од мерењето со броеви од декадниот броен систем.



Сл. 3.7 Блок-шема на дигитален мерен инструмент со врамнотежување

Кај преобразбата со врамнотежување (слика 3.7) блокот **1** е **коло за споредба** (компаратор), кое ги споредува мерената аналогна големина и референтната големина на излезот од блокот **3**, кој е **А/Д конвертор**. Блокот **2** е **коло за управување**, во кое во зависност од напонот на влезот, се формира дигиталниот број  $N$ , кој преобразен во аналогна форма служи како референтна вредност за компараторот. Таа вредност се менува, во зависност од  $N$ , сè додека не се постигне изедначување на вредностите од двата влеза на компараторот. Тоа претставува рамнотежа и во тој момент блокот **5**, **дигиталниот индикатор**, го прикажува бројот  $N$ . Точноста на мерењето и кај двата вида преобразби зависи од грешките во нивните компоненти.

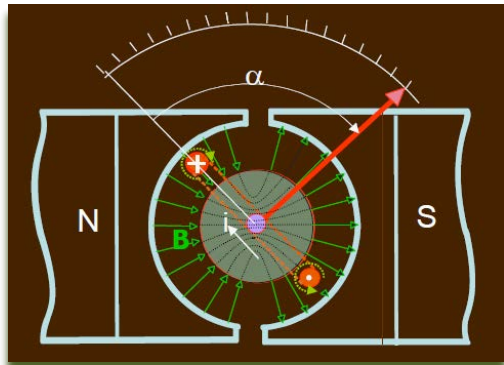


- ❖ Аналогниот електричен инструмент со употреба на активен засилувач се претвора во електронски мерен инструмент со голема осетливост.
- ❖ Електронските мерни инструменти имаат голема влезна импеданса, голема остливост, мала грешка при мерење, излезен сигнал во дигитална форма.



- ❖ Електронските аналогни мерни инструменти се состојат од магнетноелектричен мерен механизам кој служи како покажувач на измерената вредност.
- ❖ Електронските мерни инструменти имаат четири основни склопа: влезно коло, коло за аналогна обработка на сигналот, мерен индикатор, извор за напојување на електронските компоненти.
- ❖ Основна улога на мерните засилувачи е да ја засилат мерената големина до нивото, потребно за квалитетно мерење.
- ❖ Преобразбата на аналогната големина во дигитална се остварува со аналого/дигитален преобразувач – А/Д конвертор.
- ❖ Дигиталните мерни инструменти користат А/Д преобразувачи, со кои мерената големина се преобразува во напон во форма на правоаголни импулси.

## 3.2 МЕРЕН ИНСТРУМЕНТ СО ВРТЛИВА НАМОТКА




Сл. 3.8 Инструмент со вртлива намотка

**Инструментот со вртлива намотка** најчесто се користи во мерната практика поради линеарната скала, високата чувствителност и резолуцијата. Постојат основни и посложени изведби на инструмент со вртлива намотка. Основната верзија служи за мерење еднонасочни струи и напони, а посложената за мерење наизменични напони и струи, отпорност и други големини. Во овој

случај тој функционира како универзален инструмент.

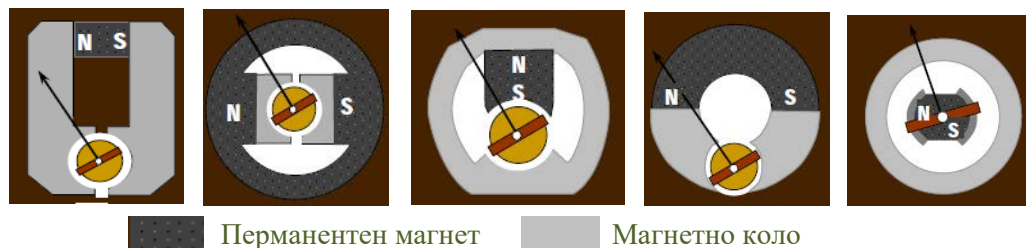
Инструментот со вртлива намотка во комбинација со мерен засилувач претставува **електронски аналоген инструмент** и има поширока примена. Тој има подобрени карактеристики, но и посложена конструкција.

Ознаката на овој инструмент е .

### 3.2.1 СОСТАВНИ ДЕЛОВИ

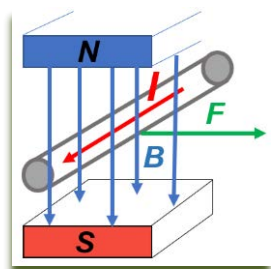
Кај инструментот со вртлива намотка хомогеното магнетно поле се добива од **перманентен магнет**. Меѓу половите N и S се поставуваат **полови продолжетоци и цилиндар од меко железо**. Воздушниот простор меѓу цилиндарот и половите продолжетоци мора да е тесен, од 1 до 2 mm. Ова обезбедува доволно голема магнетна индукција и хомогено радијално магнетно поле кое секогаш е нормално на намотката. Перманентниот магнет со половите продолжетоци и цилиндарот се неподвижни делови на инструментот.

**Намотката** се поставува во воздушниот простор меѓу половите продолжетоци и цилиндарот. Таа е изработена од тенок бакарен спроводник кој е намотан на алуминиумска рамка и може да се врти околу оска.



Сл.3.9 Конструктивни видови на вртливи системи и магнетни кола кај инструмент со вртлива намотка

### 3.2.2 ПРИНЦИП НА РАБОТА



Сл. 3.10 Спроводник во магнетно поле

Принципот на работа на инструментот со вртлива намотка ја користи појавата на електромагнетната сила. Ако низ некој спроводник тече еднонасочна струја и се наоѓа во хомогено магнетно поле, врз него ќе дејствува сила што ќе го придвижи (сл. 3.10). Силата која го предизвикува движењето на спроводникот се нарекува **електромагнетна сила F** (сл.3.11).

$$F = B \cdot I \cdot l [N]$$

.....(3.10)



Таа зависи од магнетната индукција  $\mathbf{B}$  на перманентниот магнет, активната должина на спроводникот  $l$  и интензитетот на струјата  $I$ .

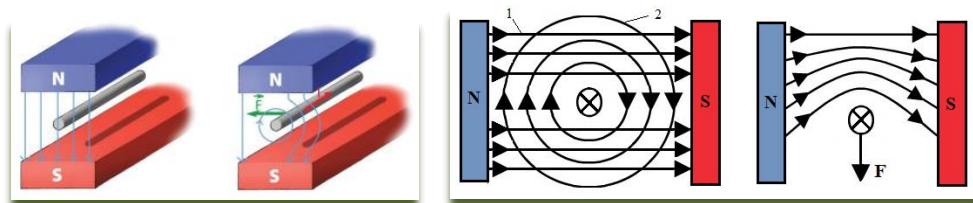
Спроводникот во магнетното поле се придвижува во насоката во која магнетното поле е послабо.



Насоката на електромагнетната сила се одредува според *Ленцовото правило на лева рака.*

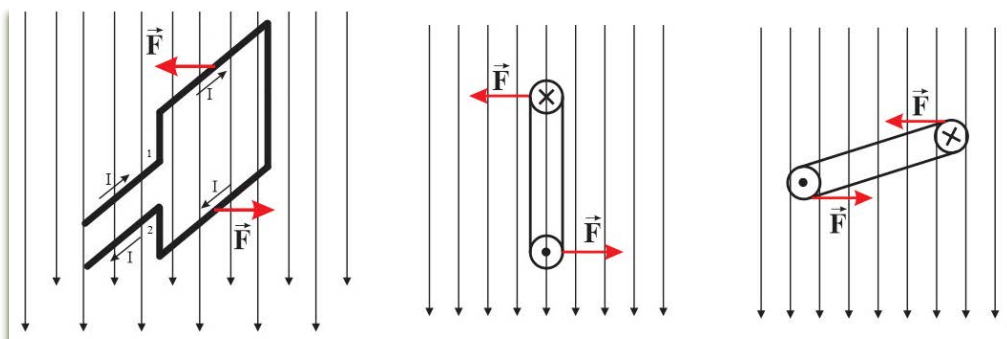
Сл. 3.11 Правило на лева рака

На слика 3.12 е прикажано резултантното магнетно поле од хомогеното магнетно поле создадено од перманентниот магнет (1) и магнетното поле од спроводник низ кој тече еднонасочна струја (2).



Сл. 3.12 Магнетно поле на праволиниски спроводник низ кој тече струја

Ако наместо спроводник во магнетното поле се постави **спроводна контура-навивка**, низ која тече струја, ќе се појават две електромагнетни сили, во двете страни на навивката кои се нормално поставени на силовите линии (1 и 2) во магнетното поле (слика 3.13).



Сл. 3.13 Навивка во магнетно поле низ која тече струја

Силата која дејствува врз секоја страна од навивката се пресметува според формулата 3.10. Оваа сила е еднаква, но спротивна по насока на секоја од страните 1 и 2. Затоа резултантната сила предизвикува **свртување на навивката**.

Со цел да се добие поголема сила во магнетното поле, се поставува **намотка со N навивки**. Соодветно, силата се пресметува според формулата:

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot N \text{ [N]} \dots\dots\dots(3.11)$$

Струјата **I** која протекува низ намотката создава активен момент на свртување:

$$M_a = F \cdot b = N \cdot b \cdot I \cdot l \cdot B \quad b - \text{ширичината на намотката} \dots\dots\dots(3.12)$$

Бидејќи сите елементи во изразот, освен струјата **I**, се константни и се конструктивни карактеристики на инструментот, изразот може да се запише на следниот начин:

$$M_a = k \cdot I \dots\dots\dots(3.13)$$

Ова значи дека активниот момент **Ma** е пропорционален на јачината на струјата **I**.

За да може намотката да се заврти за некој агол **α**, мора да постои противмомент **Mp**. Тој се остварува со помош на две спирални пружини кои се прицврстени на оската. Така, при завртување на намотката се завртува и оската, па доаѓа до затегање на спиралните пружини. Механичкиот момент на спиралните пружини се зголемува пропорционално со аголот на отклонот **α**, што значи пропорционално со интензитетот на струјата **I**.

Односно, противмоментот **Mp** ќе биде:

$$M_p = D \cdot \alpha \dots\dots\dots(3.14)$$

каде што **D** е константа на пропорционалност и зависи од механичките карактеристики на пружините.

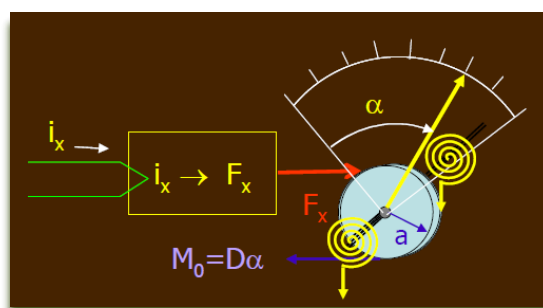


Ако се појде од условот  $M_a = M_p$  и се заменат соодветните изрази (3.13) и (3.14), се добива:

$$k \cdot I = D \cdot \alpha, \text{ односно } \alpha = \frac{k}{D} \cdot I = \text{const} \cdot I \dots\dots\dots(3.15)$$

што значи дека аголот на свртувањето на намотката е **правопропорционален** со струјата која тече низ намотката.

*Значи, зависноста на отклонот од струјата е линеарна и скалата на инструментот, исто така, е линеарна.*



Сл. 3.14 Вртлив подвижен систем

Придушувањето кај инструментот со вртлива намотка е магнетоиндуктивно и се остварува со алуминиумска рамка, на која е намотана вртливата намотка.

### 3.2.3 ТЕМПЕРАТУРНА КОМПЕНЗАЦИЈА

*Отпорноста на спроводниците се менува со промената на температурата на околината. Се разбира, големината на промената на отпорноста зависи од **температурниот коефициент** на материјалот од кој спроводникот е изработен. Температурниот коефициент е показател за промената на отпорноста на секој спроводник при промена на температурата за 1 °C.*

При промената на температурата на средината во која се наоѓа мерниот инструмент се менува отпорноста на вртливата намотка, а тоа значи се менува и отклонот на инструментот. Според ова, отклонот на

скалата на мерниот инструмент не зависи само од мерената големина, туку и од температурата на околината.

Вртливата намотка се изработува од бакарен спроводник кој има температурен коефициент  $\alpha = 0,0039 / 1 \text{ }^\circ\text{K}$ . Што значи, при промена на температурата на околината од  $1 \text{ }^\circ\text{K}$ , отпорноста на вртливата намотка се менува за 0,0039 пати.

За да се отстрани влијанието на температурата врз покажувањето на мерниот инструмент, потребно е да се изврши температурна компензација. За таа цел, спиралните пружини кои го создаваат противмоментот и служат за враќање на стрелката на почетната положба, сериски се поврзуваат со краевите на вртливата намотка. Се изработуваат од фосфорна бронза, која има негативен температурен коефициент. Ова претставува делумна температурна компензација, бидејќи бакарот и фосфорната бронза не се со идентична апсолутна вредност, иако носат спротивен предзнак.

*Целосна температурна компензација се постигнува со сериска врска на намотката и отпорник со негативен температурен коефициент чија вредност е еднаква на температурниот коефициент на бакарот.*

Секако, отпорноста на отпорникот и отпорноста на намотката мора да се еднакви.

Во практиката, најчесто, сериски се додава отпорник кон вртливата намотка, со температурен коефициент  $\alpha = 0$ , но со вредност која е неколку пати поголема од отпорот на намотката. Се разбира, во овој случај големината на отпорот на отпорникот зависи од отпорот на намотката и од температурното подрачје во кое мерниот инструмент не смее да ја надмине грешката, која е одредена со неговата класа на точност.

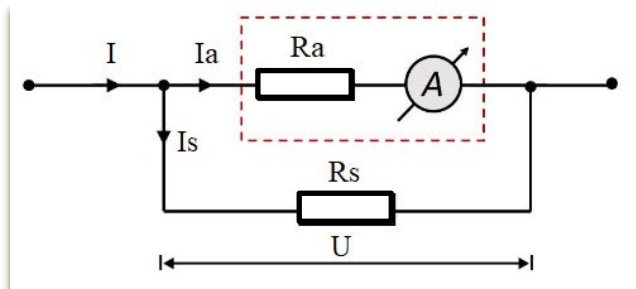
Отпорниците кои се користат за температурна компензација во мерните инструменти се изработуваат од манганин.

### **3.2.4 ПРОШИРУВАЊЕ СТРУЈНО МЕРНО ПОДРАЧЈЕ**

Инструментот со вртлива намотка може да мери помали или еднакви струи на струјата, за која тој покажува максимален (полн) отклон. Струјата за која инструментот има максимален отклон е **основно мерно подрачје** и,



се разбира, нејзината големина зависи од конструктивните карактеристики на мерниот инструмент, но најчесто е мала (од ред на  $\mu\text{A}$  до  $\text{mA}$ ). Токму затоа е неопходно **да се прошири мерното подрачје** на мерниот инструмент. Ова се изведува со паралелно поврзување на инструментот на прецизен отпорник (слика 3.15).



Сл. 3.15 Шант од манганин за проширување на основното струјно мерно подрачје

Струјата  $I$  е струјата која треба да се измери (струја на новото мерно подрачје), а  $I_a$  е струјата на основното мерно подрачје. Падот на напонот на отпорникот  $R_a$  е еднаков на падот на напонот на отпорникот  $R_s$ , па за нив важи равенството:

$$R_a \cdot I_a = R_s \cdot (I - I_a) \quad \dots\dots\dots(3.16)$$

Од тука се добива:

$$R_s = \frac{R_a \cdot I_a}{I - I_a} \quad \dots\dots\dots(3.17),$$

односно

$$I_a = \frac{R_s \cdot I}{R_a + R_s} \quad \dots\dots\dots(3.18)$$

Односот  $n = I/I_a$  претставува **коефициент на шантирање** и покажува колку пати треба да се прошири основното мерно подрачје.

Изразот 3.17 ја определува вредноста на прецизниот отпорник кој е потребен за проширување на основното струјно мерно подрачје. Тој се

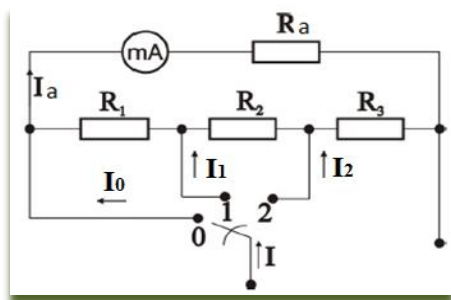
нарекува **шант**, а постапката за проширување на мерното подрачје е **шантирање**.

Со оваа постапка најголемиот дел од струјата  $I$  минува низ шантот. Во тој случај, точноста на мерењето зависи од класата на точност на мерниот инструмент и од прецизноста на шантот. Затоа, за да се обезбедат стабилни карактеристики на промена на температура, шантот се изработува од манганин. Секако, и шантовите се класифицирани во класите на точност. **Класата на точност на шантот мора да биде подобра од класата на точност на мерниот инструмент.**

За мерни подрачја до 10 A, шантовите се вградени во кутијата на мерниот инструмент. За поголеми струи е неизбежно загревањето, па шантовите се приклучуваат надворешно.

За секој приклучен шант се назначуваат неговите параметри: номинална струја, номинален пад на напон на неговите краеве и класата на точност. Стандардни вредности за падот на напонот се: 45, 60, 100, 150 и 300 mV, но во практиката најчесто се употребуваат шантови со номинален пад на напон од 60 mV.

Во случај кога амперметарот (инструмент со вртлива намотка) треба да има **повеќе мерни подрачја** (што е многу честа појава во практиката), проширувањето се реализира според следната електрична шема (слика 3.16):



Сл. 3.16 Проширување струјно мерно подрачје

Ова е амперметар со **три мерни подрачја**. Најмало мерно подрачје се постигнува кога преклопникот се наоѓа во **положба 0**. Паралелно на мерниот инструмент е поврзан шант, кој е составен од три отпорници  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ .



Вредностите на трите отпорници и соодветните коефициенти на шантирање се определуваат на следниот начин:

⇒ За преклопникот во положба  $P \rightarrow 0$

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad \dots\dots\dots(3.19)$$

$$R \cdot (I_0 - I_a) = R_a \cdot I_a \rightarrow R = \frac{R_a \cdot I_a}{I_0 - I_a} = \frac{R_a}{n_0 - 1}, \quad n_0 = \frac{I_0}{I_a} \quad \dots\dots\dots(3.20)$$

⇒ За преклопникот во положба  $P \rightarrow 1$

$$I_a(R_a + R_1) = (I_1 - I_a)(R_2 + R_3) \quad \dots\dots\dots(3.21)$$

$$R_2 + R_3 = R - R_1 = \frac{I_a \cdot (R_a + R_1)}{I_1 - I_a} = \frac{R_a \cdot (n_0 - 1) + R_1}{n_0 \cdot n_1 - 1} \quad \dots\dots\dots(3.22)$$

$$R_1 = \left(1 - \frac{1}{n_1}\right) \cdot R, \quad n_1 = \frac{I_1}{I_0} \quad \dots\dots\dots(3.23)$$

⇒ За преклопникот во положба  $P \rightarrow 2$

$$I_a \cdot (R_a + R_1 + R_2) = (I_2 - I_a) \cdot R_3 \quad \dots\dots\dots(3.24)$$

$$R_2 = \left(\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2}\right) \cdot R \quad R_3 = \frac{R}{n_2} \quad n_2 = \frac{I_2}{I_0} \quad \dots\dots\dots(3.25)$$

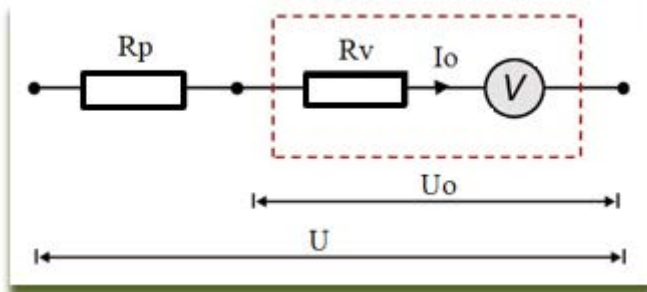
Се разбира, очигледно е дека струите во поединечните поврзувања се пресметуваат на следниот начин:

$$I_0 = n_0 \cdot I_a, \quad I_1 = n_1 \cdot I_0, \quad I_2 = n_2 \cdot I_0 \quad \dots\dots\dots(3.26)$$

### 3.2.5 ПРОШИРУВАЊЕ НАПОНСКО МЕРНО ПОДРАЧЈЕ

Кога инструментот е приклучен во мерно коло низ него протекува струја која создава одреден пад на напон. Бидејќи неговата отпорност е константна, големината на падот на напонот на инструментот зависи само од јачината на струјата. Според слика 3.17, очигледно е дека кога инструментот е приклучен на напон  $U_0$ , тој покажува максимален (полн) отклон. Ова значи, инструментот со вртлива намотка се користи како волтметар за мерење напони со вредност помала или еднаква на  $U_0$ . Секако, овој напон претставува **основно мерно подрачје** на инструментот.

Со цел да се овозможи мерење и на поголеми напони, потребно е да се **прошири основното мерно подрачје**. Ова се постигнува со сериско поврзување прецизен отпорник со инструментот. Овој отпорник ја ограничува струјата низ вртливата намотка до вредност  $I_0$ .



Сл. 3.17 Проширување на напонско мерно подрачје

Од електричната шема на слика 3.17 произлегува дека:

$$U = (R_p + R_v) \cdot I_0 \quad \dots\dots\dots(3.27)$$

Со средување на изразот (3.27) може да се добие вредноста на отпорникот  $R_p$ :

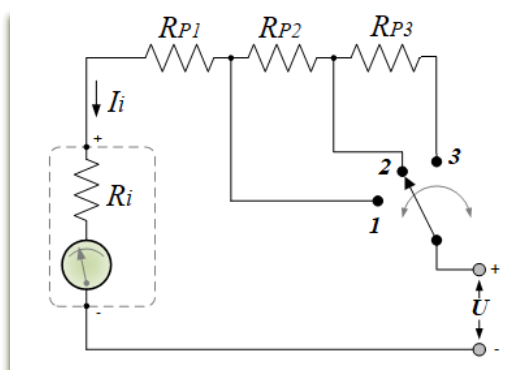
$$R_p = R_{v0} \cdot (U - U_0) \quad \dots\dots\dots(3.28)$$



Односот  $\frac{R_V}{U_0} = R_{v0}$  претставува **карактеристична отпорност на волтметарот**, се изразува во  $\Omega/V$  и ја определува големината на **предотпорникот** кој треба да се приклучи сериски со инструментот за да се прошири основното мерно подрачје за 1 V.

Точноста на мерењето зависи од класата на точност на инструментот и од прецизноста на предотпорникот. Токму од овие причини, предотпорникот треба да е со температурна стабилност и најчесто се изработува од манганин.

Како и кај отпорниците кои се користат за проширување на струјно мерно подрачје, и овде **класата на точност на предотпорникот треба да е подобра од класата на точност на инструментот**. Предотпорите најчесто се вградуваат во кутијата на инструментот.



Сл. 3.18 Проширување на напонско мерно подрачје

Ако мерниот инструмент треба да има **повеќе напонски мерни подрачја**, тоа се остварува со употреба на **отпорнички делител**. Реализацијата на волтметар со повеќе мерни подрачја е дадена со електрична шема на слика 3.18.

Определувањето на вредностите на отпорниците од сл. 3.18, кои се неопходни за реализација на мерните подрачја, се врши со следната постапка:

⇒ За преклопникот во положба **P→1**

$$U_1 = (R_i + R_{p1}) \cdot I_i \rightarrow R_{p1} = \frac{U_1}{I_i} - R_i \dots\dots\dots(3.29)$$

⇒ За преклопникот во положба **P→2**

$$U_2 = (R_i + R_{p1} + R_{p2}) \cdot I_i \rightarrow R_{p2} = \frac{U_2}{I_i} - R_i - R_{p1} \dots\dots\dots(3.30)$$

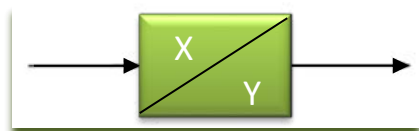
⇒ За преклопникот во положба  $P \rightarrow 3$

$$U_3 = (R_i + R_{p1} + R_{p2} + R_{p3}) \cdot I_i \rightarrow R_{p3} = \frac{U_3}{I_i} - R_i - R_{p1} - R_{p2} \quad (3.31)$$

### 3.2.6 МЕРЕЊЕ НАИЗМЕНИЧНИ ГОЛЕМИНИ

Според начинот на работа, инструментот со вртлива намотка мери само еднонасочни струи и напони. Затоа и неговите приклучоци се обележани со + и со - .

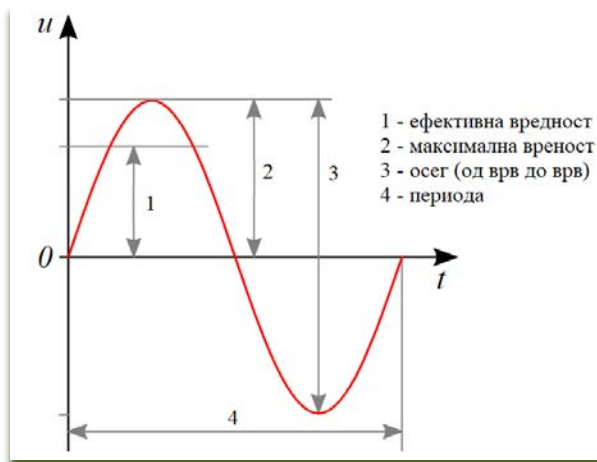
Секогаш мора да се внимава на правилно приклучување, бидејќи при погрешно поврзување подвижниот дел на инструментот се врти во обратна насока, па стрелката удира во механичкиот граничник и доаѓа до нејзина деформација.



Сл. 3.19 Блок-шема на мерен преобразувач

За мерење наизменични големини, напони и струи, со инструмент со вртлива намотка, потребно е тие да се преобразат во еднонасочни. Ова се врши со **преобразувач** (слика 3.19), кој се вградува во кутијата на инструментот.

Кај наизменичните струи насоката на струјата постојано се менува, односно половина од периодот таа е позитивна, а во другата половина од периодот струјата е негативна (слика 3.20). Затоа, за наизменичните синусни големини важни се нивната **ефективна** и **максимална вредност**.



Сл. 3.20 Наизменичен напон со синусен облик

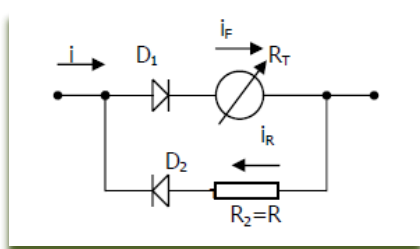


Преобразувачите од наизменични во еднонасочни големини за мерни цели се користат во фреквентно подрачје од индустриски фреквенции, па до повеќе стотини kHz, а во некои случаи и до неколку MHz. Познати се и како **насочувачи**. Вообичаено се групираат како насочувачи за средна, максимална и насочувачи за ефективна вредност. Најчесто се користат мерни инструменти за наизменични големини кои ја покажуваат ефективната вредност. Токму затоа, преобразувачите треба да бидат со излез кој е пропорционален или еднаков на ефективната вредност на мерената големина.

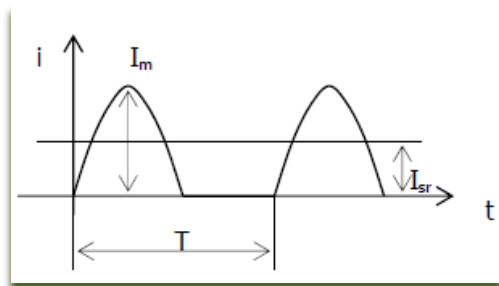
Основен елемент кај ваквите преобразувачи е полупроводничката диода, па затоа се познати и како **диодни насочувачи**.

Диодата е нелинеарен елемент чија отпорност зависи од насоката на напонот на кој е приклучена. Кај диодата постои отпорност во спроводната насока (при нејзина директна поларизација) и отпорност во неспроводната насока (при нејзина инверзна поларизација). Отпорноста на диодата при директна поларизација е релативно мала, за разлика од отпорноста во инверзната, која е од 1000 до 10000 пати поголема од отпорноста при директната поларизација.

Мерен инструмент со преобразувач и еднонасочната големина која се добива на неговиот излез, а е пропорционална на ефективната вредност, се прикажани на слика 3.21 и слика 3.22. Ова коло е **едностран насочувач**.



Сл. 3.21 Мерен инструмент со преобразувач за еднострано насочување



Сл. 3.22 Бранов облик на излезната големина

Најчесто се мерат големини со фреквенција од 50 Hz, бидејќи за повисоки фреквенции доаѓа до израз инерцијата на подвижниот дел од инструментот и стрелката не може да ги следи тие промени.

Средната вредност на струјата се изразува преку нејзината максимална вредност:

$$I_{sr} = \frac{I_m}{\pi} = 0,31 \cdot I_m \quad \dots\dots\dots(3.32)$$

А ефективната вредност на наизменичните големини со синусен облик се изразува како:

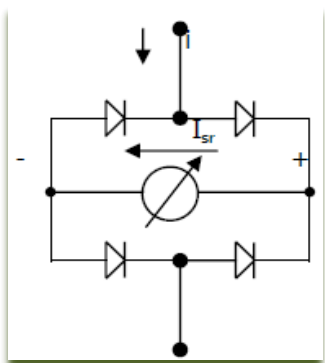
$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad \dots\dots\dots(3.33)$$

Тоа значи дека ефективната вредност на струјата е

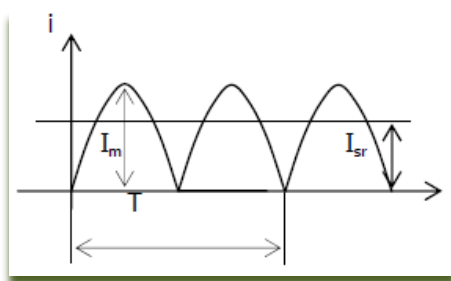
$$I = \frac{I_{sr}}{0,318 \cdot \sqrt{2}} = 2,22 \cdot I_{sr} \quad \dots\dots\dots(3.34)$$

Односно, ефективната вредност е 2,22 пати поголема од вредноста која ја покажува инструментот. Значи, **инструментите за наизменични големини мора да имаат соодветно нумерирана скала.**

Недостаток на електричната шема од слика 3.21 е што не може да се искористат двете полупериоди на наизменичната струја. Затоа се користи преобразувач со **двострано насочување** од слика 3.23 и слика 3.24.



Сл. 3.23 Мереен инструмент со преобразувач за двострано насочување



Сл. 3.24 Бранов облик на излезната големина



Во овој насочувач се употребуваат четири диоди во врска која е позната како **Грецов спој** или **Грецов насочувач**. Овде се искористуваат двете полупериоди од наизменичната струја. Соодветно, средната вредност на инструментот е:

$$I_{sr} = \frac{2 \cdot I_m}{\pi} = 0,636 \dots\dots\dots(3.35)$$

Очигледно е дека нејзината вредност е двојно поголема од вредноста на струјата во претходното коло. Тоа значи дека истиот инструмент ќе има двојно поголем отклон ако е приклучен на двостран насочувач. Се наметнува заклучокот дека инструментот на овој начин има двојно поголема осетливост. Соодветно, нумерирањето на скалата кај инструмент со двостран насочувач е со коефициент за нумерирање 1,11, за разлика од коефициентот кај инструмент со едностран насочувач, кој изнесува 2,22.

Сепак, сето ова е само за наизменични големини со синусен бранов облик. Во практиката, најчесто има потреба од **мерење наизменични големини кои немаат синусен бранов облик** (случајни сигнали) и во тој случај мерењето со ваков инструмент не е возможно. Тогаш се користат преобразувачи чија вредност е еднаква на ефективната вредност на наизменичната влезна големина. Овие преобразувачи имаат квадратна зависност меѓу влезната и излезната големина.



- ❖ Основната верзија на инструмент со вртлива намотка служи за мерење еднонасочни струи и напони, а посложената за мерење наизменични напони и струи, отпор и други големини.
- ❖ Скалата кај инструмент со вртлива намотка е линеарна, а придушувањето е магнетоиндуктивно.
- ❖ Целосна температурна компензација кај инструмент со вртлива намотка се постигнува со сериска врска на намотката и отпорник со негативен температурен коефициент чија вредност е еднаква на температурниот коефициент на бакарот.
- ❖ Прецизниот отпорник кој е потребен за проширување на основното струјно мерно подрачје кај инструмент со вртлива намотка се

нарекува шант, а постапката за проширување на мерното подрачје е шантирање.

- ❖ За инструмент со вртлива намотка со повеќе напонски мерни подрачја се употребува отпорнички делител.
- ❖ За мерење наизменични големини со инструмент со вртлива намотка тие мора да се преобразат во еднонасочни и тоа се врши со преобразувач.
- ❖ Основен елемент кај преобразувачите од наизменична во еднонасочна големина е полупроводничката диода, па затоа се познати и како диодни насочувачи.

### 3.3 ЕЛЕКТРОНСКИ ВОЛТМЕТАР

Мерењето на еднонасочен електричен напон со аналоген мерен инструмент е најстар пример за метрологија на електричните големини. Првиот аналоген електронски мерен инструмент е т.н. волтметар со цевка за еднонасочен напон, а денес се користат дигитални волтметри и со  $8 \frac{1}{2}$  дигити (цифри).



Сл. 3.25 Електронски волтметри со различна намена

Електронските волтметри за еднонасочен напон се поделени на:

- аналогни,
- дигитални,
- диференцијални волтметри.



Сл. 3.26 Лабораториски електронски волтметри

Карактеристиките на аналогните електронски волтметри за еднонасочен напон се: **голема влезна отпорност** и **многу голема чувствителност**.

**Големата влезна отпорност** е основна карактеристика на волтметарот и особено е важна во електронските кола кои имаат потреба од поголема стабилност на работните услови (се движи од 10 до 30 М $\Omega$ ).

**Голема чувствителност** се бара од волтметрите кои се применуваат како нула-детектори во мостните или компензациските мерни методи, или, пак, како осетливи микроволтметри за мерење исклучително мали вредности на еднонасочен напон.

Главен проблем кај аналогните електронски волтметри за еднонасочен напон е појавата на **лизгање на нултата положба** на стрелката на инструментот. Оваа појава настанува како последица на пореметената рамнотежа на мостот, кој е употребен во волтметарот, а се манифестира како постоење отклон на стрелката на инструментот, односно како да е приклучен некој променлив напон, и во случај кога на влезот на постои влезен напон.

Овој еквивалентен напон се нарекува **напон на лизгање** или **дрифт**. Оваа грешка е со апсолутна природа, несакана е при мерењето на пониски вредности на напон, па затоа мора да се води сметка за неа, особено кај *волтметрите со голема чувствителност*.

На „лизгањето“ на нулата (нултата положба) значително влијаат:

- промената на температурата (изразена во  $\mu V/^{\circ}C$ )
- стареењето на составните делови (изразена во  $\mu V/\text{ден}$ ), и
- промената на напонот на напојувањето (која е занемарлива, поради денешните високостабилни кола за напојување).

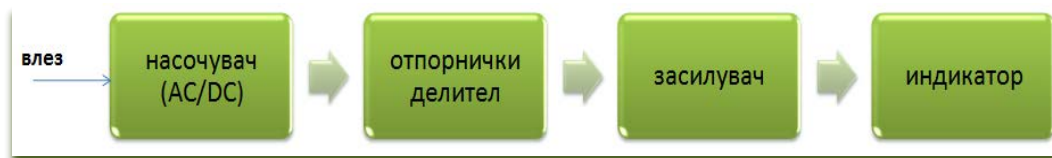
*Токму затоа, пред секое мерење е потребно да се изврши проверка и нагудување на нултата положба на стрелката на мерниот инструмент. Секако, за ова постои соодветен потенциометар (копче на инструментот).*

Напонот на лизгање е причина што овие инструменти не се изработуваат за мерење напони пониски од 100 mV. Инструментите за ниски еднонасочни напони (микроволтметри) се изработуваат на сосема поинаков начин, со многу посложени решенија.

**Електронските аналогни волтметри за наизменичен напон** се изработуваат со истите компоненти, но во следните две решенија:

- со претходна преобразба на влезниот напон од наизменичен во еднонасочен (AC/DC), а потоа негово засилување и се познати како електронски волтметри од типот **насочувач-засилувач**, слика 3.27;
- со претходно засилување на влезниот напон, а потоа преобразување од наизменичен во еднонасочен (AC/DC) и се познати како електронски волтметри од типот **засилувач-насочувач**, слика 3.28.

Овие две решенија се прикажани на следните две блок-шеми:



Сл. 3.27 Блок-шема на волтметар со насочувач-засилувач



Сл. 3.28 Блок-шема на волтметар со засилувач-насочувач

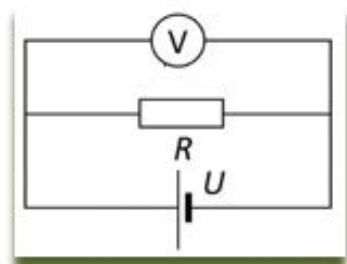
Преобразувачите се изведуваат со полупроводнички диоди, а индикаторот е инструмент со вртлива намотка. Отклонот на инструментот е пропорционален на мерениот еднонасочен напон на излезот од насочувачот, па **скалата е баждарена за ефективни вредности** на наизменичниот напон.

Овие инструменти се наменети за мерење наизменични синусни бранови облици, а за останатите форми прават големи грешки при мерењето. Токму затоа за нивно мерење се користат сосема различни и многу посложени решенија.

*Волтметрите од типот насочувач-засилувач* се поедноставни, но поради напонот на лизгање и работата на влезниот насочувач не се употребуваат за мерни подрачја пониски од 300 mV.

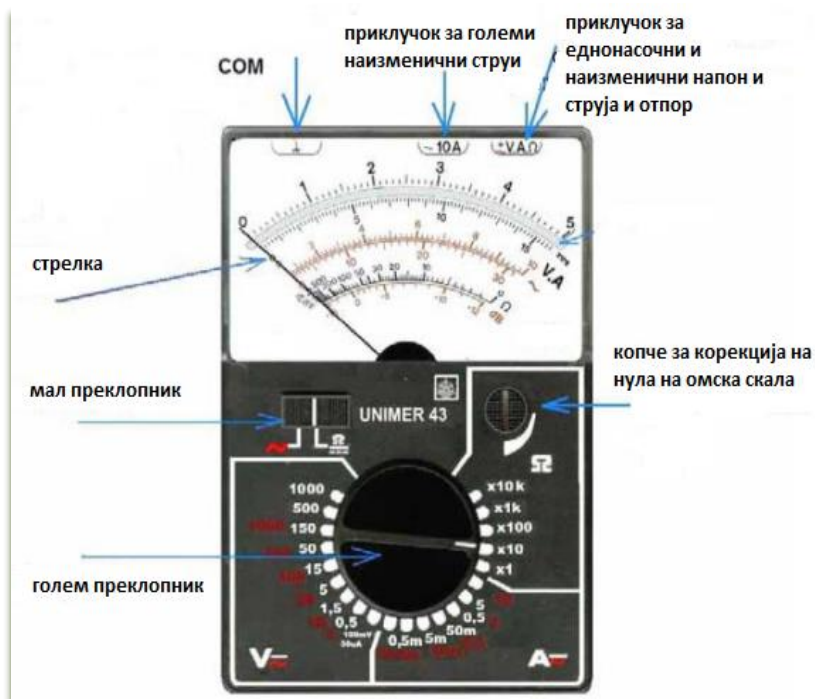
*Волтметрите од типот засилувач-насочувач* имаат посложена изведба и користат засилувачи за наизменичен напон за широко фреквентно подрачје (од 20 Hz до 1 GHz). Тие се употребуваат за мерење наизменични напони од неколку  $\mu\text{V}$  до неколку илјади волти.

### 3.3.1 МЕРЕЊЕ НАПОН



Сл. 3.29 Поврзување волтметар

Волтметарот секогаш се поврзува паралелно со компонентата на електричното коло на која се врши мерење на напонот, слика 3.29. Дозволено е поврзување на волтметарот и без потрошувач (дополнителен отпор) во колото, бидејќи волтметарот има многу голема внатрешна отпорност.



Сл. 3.30 Елементи на аналоген електронски инструмент

Постапката на мерење напон се реализира во следните последователни чекори:

1. Инструментот се нагудува да работи како волтметар ако кружниот преклопник се постави на подрачје означено со „V“ (DC или AC). Доколку немаме ориентациона информација за вредноста што се мери, се поаѓа од најголемото мерно подрачје. На тој начин инструментот се заштитува од преоптоварување и уништување.
2. Ако отклонот на стрелката е многу мал постепено се намалува мерното подрачје, сè додека отклонот на стрелката не биде доволен да може да се отчита мерената вредност (препорачливо е отклонот да е во втората половина од покажувачкото подрачје).
3. Потоа се одбира скалата на која ќе се врши мерењето, се отчитува бројот на поделоци во отклонот и се пресметува константата на инструментот, со што може да се пресмета мерената вредност.

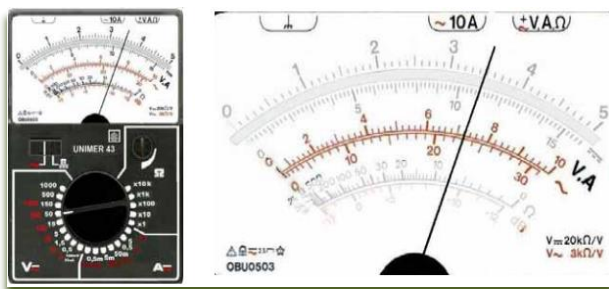


## Пример 1. Мерење еднонасочен напон



- Мерно подрачје 50 V
- Одбрана е скала со 5 поделоци
- Константата се пресметува:  $K = 50/5 = 10 \text{ V/pod}$
- Отчитани поделоци: 1,25
- Мерената вредност изнесува:  $U_a = K \cdot \alpha = 10 \cdot 1,25 = 12,5 \text{ V}$

## Пример 2. Мерење наизменичен напон од градска мрежа (230 V)



- Мерно подрачје 300 V
- Одбрана е (црвена) скала за наизменичен напон со 10 поделоци
- Константата се пресметува:  $K = 300/10 = 30 \text{ V/pod}$
- Отчитани поделоци: 7,2
- Мерената вредност изнесува:  $U_a = K \cdot \alpha = 30 \cdot 7,2 = 216 \text{ V}$
- Напон во втичница (градска мрежа): 230 V

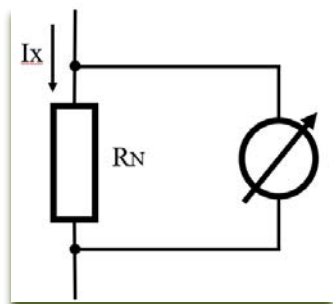
## 3.4 ЕЛЕКТРОНСКИ АМПЕРМЕТАР

Мерењето на еднонасочни струи може да се врши директно со инструмент со вртлива намотка, а мерењето на наизменичните струи се врши со истиот инструмент во комбинација со насочувач.



Сл. 3.31 Електронски амперметри за различни намени

Мерењето на електрична струја, всушност, се сведува на мерење на падот на напонот што струјата го прави низ некој познат отпорник. Значи, електронските амперметри се реализираат како електронски волтметри со соодветен преобразувач од струја во напон. Се разбира, калибрацијата на скалата е во соодветната мерна единица – ампер.



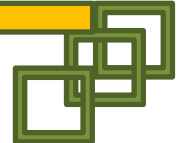
Отпорникот  $R_N$  е **еталонски отпорник**, составен од повеќе отпорници со различни вредности (за повеќе мерни подрачја), а струјата  $I_x$  е мерената струја.

Сл. 3.32 Мерење струја со електронски волтметар

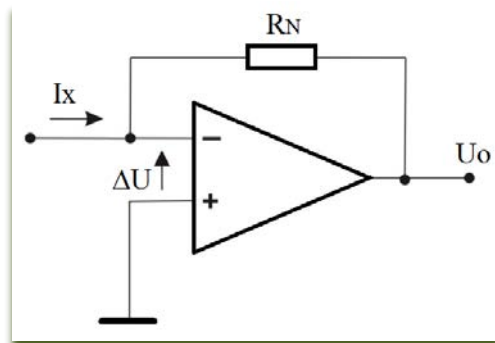
При мерење мали струи, еталонскиот отпорник треба да има многу голема отпорност, а за мерење големи струи неговата вредност мора да е многу мала. На овој начин инструментот се користи за мерење големо подрачје на вредности.

Вредноста на еталонскиот отпорник е многу помала од влезната отпорност на инструментот и поради паралелната врска меѓу нив (слика 3.32) таа вредност не предизвикува дополнителни грешки.

Во случај кога вредноста на еталонскиот отпорник би била од ист ред со влезната отпорност на инструментот, осетливоста на инструментот се зголемува, но вкупната отпорност би се намалила и би предизвикала губење на основната карактеристика на електронските мерни инструменти, а тоа е многу големата влезна отпорност.



За избегнување на овој недостаток и **мерење мали струи**, од редот на  $\mu\text{A}$ , се користи активен мерен преобразувач за преобразување на струјата во напон, даден на слика 3.33.



Сл. 3.33 Активен мерен преобразувач на струја во напон

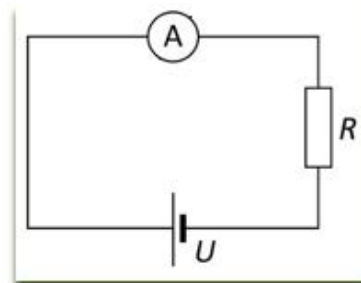
На влезот од преобразувачот е струјата  $I_x$  која се мери, а на излезот е приклучен електронски волтметар. Преобразувачот е мерен засилувач со голема влезна отпорност и големо засилување.

На излезот од овој преобразувач се добива напон, кој е пропорционален на мерената струја:

$$U_0 = I_x \cdot R_N \quad \dots\dots\dots(3.36)$$

### 3.4.1 МЕРЕЊЕ СТРУЈА

Амперметарот се поврзува во серија во гранката чија јачина на струја се мери, слика 3.34. Амперметарот никогаш не смее да се поврзе директно на изворот на струја, бидејќи во тој случај би прегорел или би бил тешко оштетен.



Сл. 3.34 Поврзување амперметар

Слично како при мерење напон, и при мерење струја кружниот преклопник се поставува на најголемото мерно подрачје, а потоа се намалува за да се добие добар отклон

на стрелката. При промена на мерното подрачје колото треба да се прекине, да се смени подрачјето, а потоа повторно да се поврзе колото.

Во пракса, многу поретко инструментот се поврзува како амперметар, токму поради потребата од прекинување на електричното коло. Вообичаено, таквото мерење се врши преку мерење на напонот на краевите од потрошувачот, а потоа со употреба на Омовиот закон се пресметува струјата.

### 3.5 ЕЛЕКТРОНСКИ ОММЕТАР

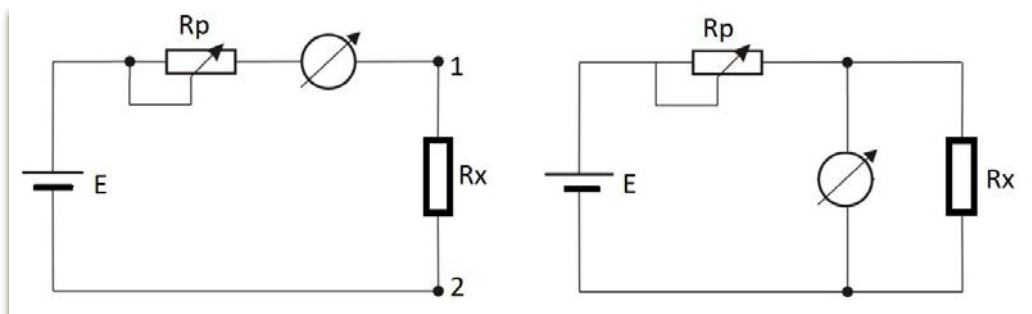


Сл. 3.35 Електронски омметри

а) училишен омметар

б) омметар со вакуумска цевка

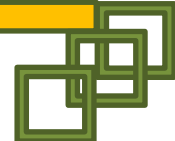
Омметрите се мерни инструменти за мерење отпорност. Мерењето отпорност може да се врши со **инструмент со вртлива намотка**, употребен како амперметар, во коло со извор на напојување **E** и потенциометар **R<sub>p</sub>** (еталонски отпорник), слика 3.36а.



а)

б)

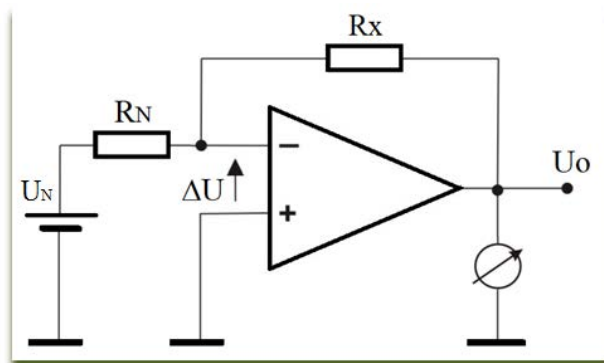
Сл. 3.36 Електрична шема на омметар



Пред да се изврши мерење во ова коло, потребно е краевите 1 и 2 кусо да се врзат, а потенциометарот да се нагоди до полн отклон на стрелката на инструментот. Потоа отпорникот  $R_x$ , чијашто вредност се мери, се поставува меѓу истите краеве (1 и 2). Отклонот на индикаторот е обратно пропорционален со отпорноста која се мери, па скалата е со нула од десната страна, а бесконечна вредност од левата страна, односно скалата е нерамномерна.

За мерење помали отпорности, до десетина оми, се користи електричната шема од слика 3.36б. Тогаш мерењето се сведува на инструмент со вртлива намотка употребен како волтметар. Скалата на овој тип на омметар е **нелинеарна** и почнува со нула на левата страна, а бесконечна вредност на крајната (десна) страна.

За реализација на електронски аналогни омметри со **линеарна скала** се користат решенија за мерење отпорност со употреба на преобразувач на отпорност во напон, слика 3.37.



Сл. 3.37 Електронски аналоген омметар со преобразувач на отпорност во напон

Засилувачот има голема влезна отпорност и големо засилување. Мерениот напон претставува мерка за непознатата (мерената) отпорност, односно излезниот напон е линеарно зависен од непознатиот отпорник.

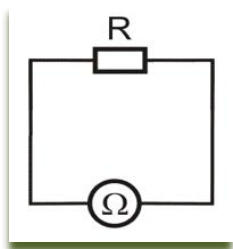
$$U_o = -U_N \cdot \frac{R_X}{R_N} \dots\dots\dots(3.37)$$

Значи, скалата на овој тип на омметар е линеарна.



Сл. 3.38 Постари видови на електронски омметри

### 3.5.1 МЕРЕЊЕ ОТПОРНОСТ



Сл. 3.39 Поврзување омметар

Омметарот секогаш се поврзува во електричното коло кога не тече струја низ него (слика 3.39), односно кога уредот кој го испитуваме е исклучен. Во спротивно, струјата од колото може да протече низ инструментот и да го оштети.

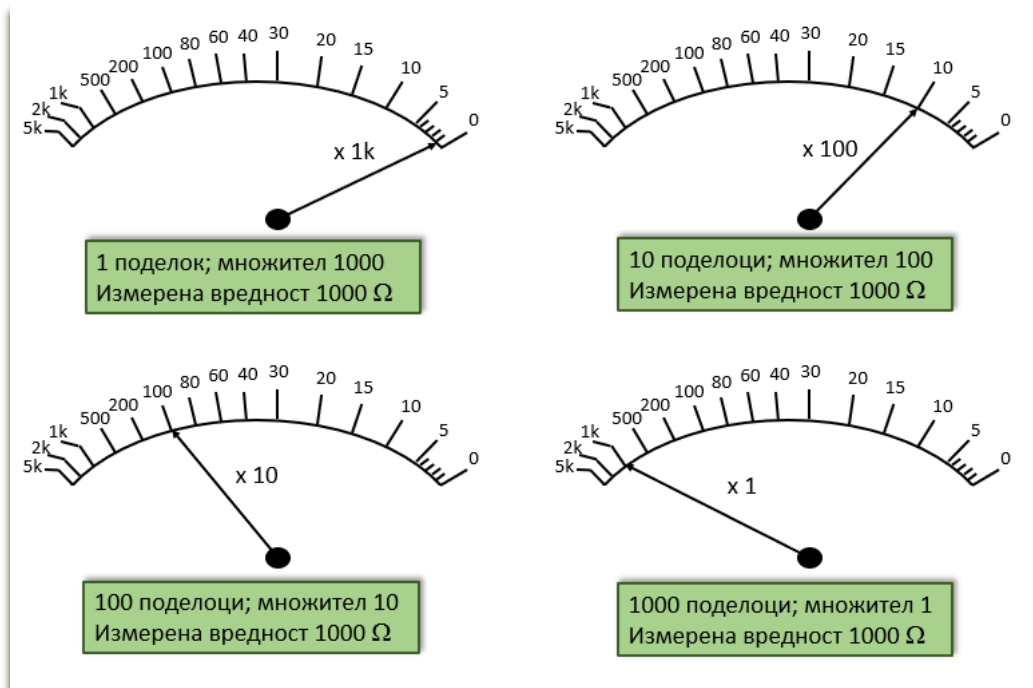
Кружниот преклопник се поставува на подрачје за мерење отпорност. При мерењето отпорност, самиот инструмент генерира струја, па затоа при помала отпорност отклонот на стрелката е поголем. Скалата е поставена од десно на лево, обратно од скалите за мерење напон и струја. Скалата е квадратна.

Отпорноста се мери со паралелно поврзување на омметарот со дадениот отпорник. Пред мерењето со аналоген омметар се врши проверка на нула. Испитните сонди се допираат помеѓу себе, при што на скалата треба да се покаже отпорност од  $0 \Omega$ . Доколку има отстапување од оваа вредност, потребно е да се изврши нагудување на нулата. На инструментот има мал преклопник, кој се користи за нејзино нагудување.

Вредноста на мерената отпорност се пресметува како производ од бројот на поделоци што ги покажува стрелката и бројот испишан на кружниот преклопник во делот за мерење отпорност.



На слика 3.40 е прикажан пример за мерење една иста отпорност во различни мерни подрачја.



Сл. 3.40 Мерење електрична отпорност во различни мерни подрачја

### 3.6 ЕЛЕКТРОНСКИ МУЛТИМЕТАР

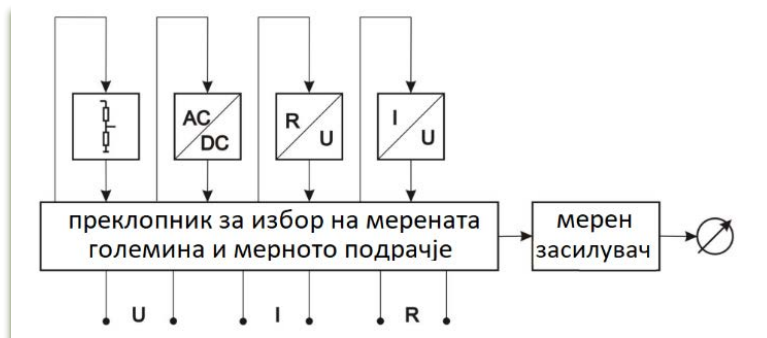


Сл. 3.41 Теренски електронски мултиметар

Електронскиот аналоген мултиметар или универзален инструмент подразбира мерен уред кој овозможува мерење еднонасочни и наизменични напони и струи, отпорност, но и други електрични и неелектрични големини. Универзалните мерни инструменти се познати и како „унимери“ или „AVO-метри“. Наменети се за теренски мерења (слика 3.41), сервисирање на електрични и електронски уреди, итн.

Поједноставните изработки се реализираат со **инструмент со вртлива намотка**, во комбинација со соодветен **атенуатор за повеќе напонски мерни подрачја**, со **отпорници за повеќе струјни мерни подрачја** и **преобразувач** на наизменична во еднонасочна струја.

Поусовршените универзални инструменти имаат и **мерен засилувач**, слика 3.42.



Сл. 3.42 Блок-шема на електронски аналоген мултиметар

**Електронскиот мултиметар е најупотребуван мерен инструмент**, поради можноста со еден уред да се мерат повеќе различни големини.



Сл. 3.43 Електронски мултиметар

а) Воен мултиметар (САД)    б) Лабораториски мултиметар (Philips)



- ❖ Аналогните електронски волтметри за еднонасочен напон се со голема влезна отпорност и многу голема осетливост.
- ❖ Аналогниот електронски волтметар се состои од атенуатор, засилувач и индикатор.
- ❖ Волтметарот секогаш се поврзува паралелно со компонентата на електричното коло на која се врши мерење на напонот.
- ❖ Мерењето на електрична струја, всушност, е мерење на падот на напонот што струјата го прави низ некој познат отпорник.
- ❖ Амперметарот се поврзува во серија во гранката чија јачина на струја се мери.
- ❖ Омметарот секогаш се поврзува во електрично коло кога не тече струја низ него.
- ❖ Универзалниот инструмент е мерен уред кој овозможува мерење еднонасочни и наизменични напони, струи, отпорност и други електрични и неелектрични големини.

## 3.7 ДИГИТАЛНИ МЕРНИ ИНСТРУМЕНТИ

Дигиталните мерни инструменти својот назив го добиле од англискиот збор *digit* (цифра). Тие ги прикажуваат резултатите во форма на бројна вредност, прикажана директно на екран, односно алфанумерички дисплеј. Ова е многу поедноставно за отчитување, особено кога е потребно поточно мерење и отчитување.

Дигиталните мерни инструменти имаат низа предности во однос на аналогните: имаат поголема точност (со најмала граница на грешка од 0,001 %, за разлика од аналогните, кај кои таа изнесува 0,05 %), имаат поголема сигурност, мерењето е побрзо, немаат подвижни делови, не постои триење, инертност на мерниот механизам, ниту, пак, субјективна грешка при мерењето. Исто така, податоците од мерењето можат директно да се внесат во компјутер за понатамошна обработка и анализа. На овој начин се врши и управување со цели производствени процеси.

Секако, дигиталните инструменти имаат и одредени недостатоци, тие се посложени за одржување и поправки, а и потешко се следат промените на резултатите од мерењата.

Дигиталните инструменти, како и аналогните, можат да се користат за мерење различни електрични и неелектрични големини, но со употреба на соодветни преобразувачи во напон.

### 3.7.1 ДИГИТАЛЕН ВОЛТМЕТАР

**Дигиталниот волтметар** е електронски мерен инструмент со бројно прикажување на резултатот и има голема примена. Напонот кој се мери мора претходно да се преобрази со соодветен А/Д конвертор. Реализацијата на дигиталниот мерен инструмент зависи од методата која се употребува.



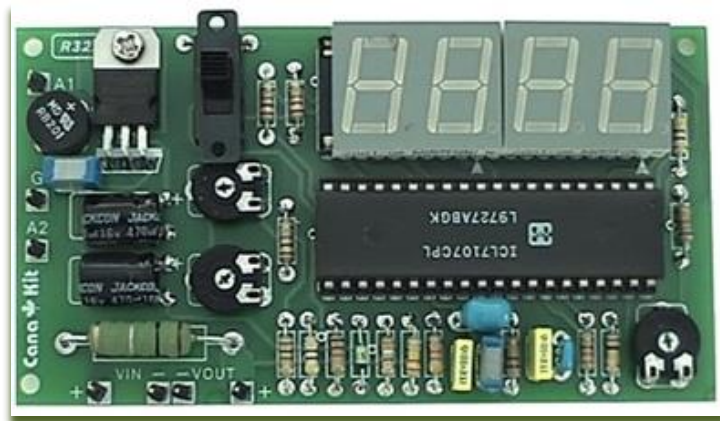
Сл. 3.44 Различни видови дигитални волтметри

За наизменични синусни напонски облици се употребуваат волтметри за еднонасочен напон, кои дополнително содржат преобразувач на наизменичен во еднонасочен напон, на истиот начин како и во аналогните мерни инструменти.

Мерењето на наизменични напони може да се реализира и со директна дигитализација на наизменичниот сигнал, без негово претходно насочување. Во ваков случај се врши дигитализација и по амплитуда и по време. Овој начин овозможува поточно мерење, но е поскап и сложен, па се користи само за прецизни лабораториски мерења на наизменични несинусни напонски облици.

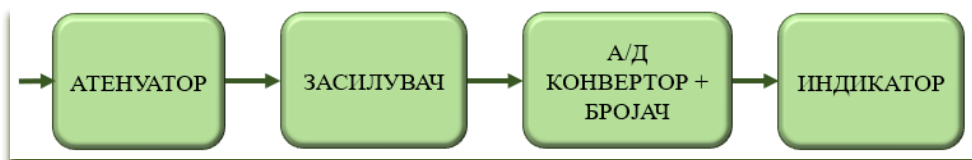


**Преобразувачите** во дигиталните волтметри го преобразуваат напонот во временски интервал или во фреквенција. **А/Д конверторите** се интегрирани кола кои на излезот даваат напон во вид на правоаголни импулси. **Бројачот** ги брои импулсите и резултатот кој го дава на неговиот излез е еднаков на влезниот еднонасочен напон кој се мери.



Сл. 3.45 Елементи на дигитален волтметар (реален изглед)

За дигитален волтметар со повеќе напонски мерни подрачја, исто како и кај аналогниот, потребен е **атенуатор** (слика 3.46). Потоа сигналот се вообличува со помош на **мерен засилувач** (ако е потребен, и соодветен насочувач за наизменичните напони). Во следниот блок се врши конверзија на напонскиот сигнал со **А/Д конвертор**. Во истиот блок, **бројачот** врши броење на правоаголните импулси од излезот на конверторот. Секако, резултатот од броењето ( $N$ ) се прикажува на **дигиталниот индикатор**.



Сл. 3.46 Блок-шема на дигитален волтметар

На слика 3.47 е прикажан дигитален волтметар со директна преобразба. Неговата точност зависи, пред сè, од точноста на А/Д конверторот.



Сл. 3.47 Пренослив дигитален волтметар

### 3.7.2 ДИГИТАЛЕН АМПЕРМЕТАР

Мерењето електрична струја може да се изврши на повеќе начини, но наједноставниот начин е со мерење на падот на напонот на еталонски отпорник. Тоа значи дека неговата вредност е позната и се приклучува во колото во кое се мери струјата. Со дигиталниот волтметар се мери падот на напонот на еталонскиот отпорник, но бидејќи е избадарен во единици за мерење струја, резултатот се прикажува директно на дигиталниот индикатор.



Сл. 3.48 Дигитален амперметар



За мерење поголеми струи, отпорникот се загрева и ја менува својата отпорност. Затоа и грешката при мерење со дигиталниот амперметар е поголема од грешката на дигиталниот волтметар.

Сл. 3.49 Различни дигитални амперметри



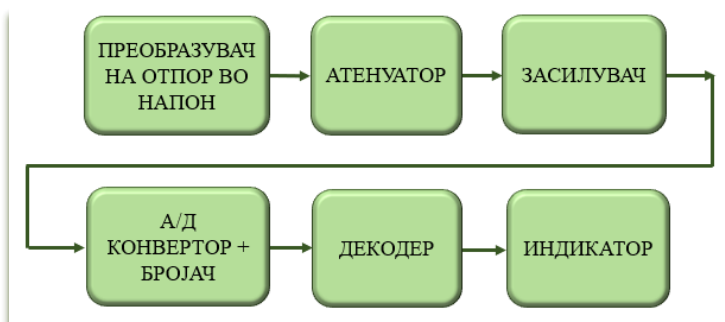
### 3.7.3 ДИГИТАЛЕН ОММЕТАР

Дигиталните омметри вообичаено се во склоп на мултиметри кои се користат за различни електрични мерења. Како и за мерењето струја, така и за дигиталното мерење отпорност има повеќе начини. Сепак, најчесто во практиката се употребува посредно мерење отпорност, преку мерење напон.



Сл. 3.50 Различни видови дигитални омметри

Мерењето на отпорноста обично се изведува со мерење на падот на напонот на отпорник со позната вредност и сериски поврзан со извор на електрична енергија со познат напон. Колку е поголема отпорноста на непознатиот отпорник, толку е помала струјата низ колото и помал е падот на напонот на отпорникот, кој е вграден во инструментот. Затоа, се користи преобразувач на отпорност во напон. Во суштина, **дигиталниот омметар се сведува на дигитален волтметар со преобразувач** (слика 3.51), при што инструментот е избадарен во соодветните единици за електрична отпорност.



Сл. 3.51 Блок-шема на дигитален омметар

### 3.7.4 ДИГИТАЛЕН МУЛТИМЕТАР

Дигиталните универзални инструменти – мултиметрите се мерни инструменти за мерење повеќе различни електрични големини, најчесто за мерење наизменични и еднонасочни напони и струи, отпорност и засилување на транзистор, за проверка на исправност на диоди. Во комбинација со соодветни преобразувачи можат да се користат и за мерење неелектрични големини, на пример, температура.

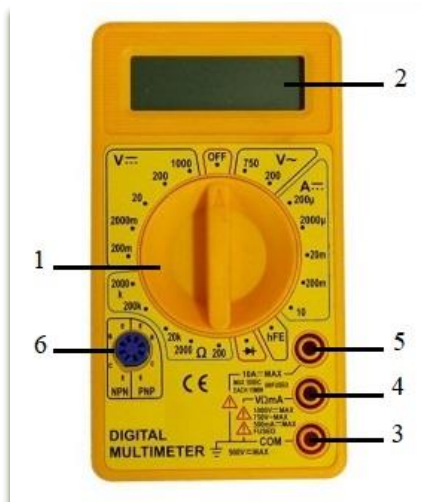
На следната слика (3.52) е дадена блок-шема на дигитален мултиметар.



Слика 3.52 Блок-шема на дигитален мултиметар

Со првиот блок се врши избор на мерената големина, се избира мерното подрачје и се врши насочување, во случај на мерење наизменични големини. Вториот блок е мерен засилувач со влезна отпорност над 10 MΩ. Во А/Д конверторот се врши претворање на аналогните во дигитални големини, а индикаторот е најчесто алфанумерички дисплеј.

Мерењето со дигитален мултиметар е многу едноставно, со приклучување на мерената големина на соодветните **приклучоци** или буксни (слика 3.53) на инструментот и избор на соодветното мерно подрачје за мерената големина на **преклопникот** од инструментот. На повеќето мултиметри постојат три (како на сликата) или четири посебни приклучоци за мерните сонди. Доколку имаат четири приклучоци, тие, на пример, се означуваат со COM, VOhm, mA, 10A (за некои инструменти). За мерење отпорност и напон се користат приклучоците COM и VOhm, за мерење струја COM и mA, додека приклучоците означени со 10 A и COM се користат за поголеми струи.



- 1 – преклопник
- 2 – дисплеј
- 3 – приклучок за заземјување (маса)
- 4 – приклучок за мерење напон, отпорност и струја до 200 mA
- 5 – приклучок за мерење на големи еднонасочни струи до 10 A
- 6 – подножје за тестирање на засилувањето на транзистор hfe

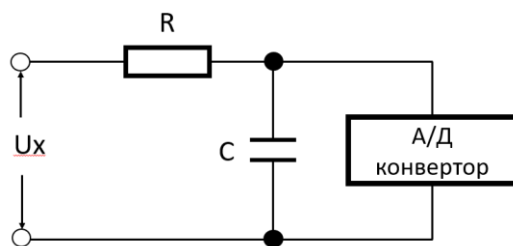
Сл. 3.53 Опис на дигитален мултиметар

Со мултиметрите можат да се мерат претходно наведените големини во фреквентно подрачје до 10 kHz за поедноставните, а до 1 MHz за пософистицираните модели. Најчесто се во изведба со 3 ½ дигити.

Имаат стандардизирани мерни подрачја, на пример:

- еднонасочните напони се мерат во неколку мерни подрачја од 200 mV до 1000 V;
- наизменичните напони се мерат во подрачја од 200 mV до 750 V за фреквенции до 50 Hz;
- наизменични струи се мерат во подрачја од 200  $\mu$ A до 20 A за фреквенции до 20 kHz;
- еднонасочни струи се мерат во подрачје од 200  $\mu$ A до 20 A;
- отпорност се мери во повеќе мерни подрачја од 200  $\Omega$  до 20 M $\Omega$ .

Дигиталниот мултиметар има многу голема влезна отпорност, што значи дека при мерењето не го оптоварува мерното коло.



Слика 3.54 Основно мерно коло на дигитален мултиметар

Составни делови на основното мерно коло на дигиталниот мултиметар се: отпорник **R**, кондензатор **C** и **А/Д конвертор** (слика 3.54). Отпорникот и кондензаторот служат за заштита. Отпорникот спречува на влез да дојде напон поголем од 200 mV, а кондензаторот ги елиминира наизменичните компоненти, со оглед дека на влезот од мерното коло е дозволено да се појави еднонасочен напон од 0 до 200 mV.

*Дигиталниот мултиметар, всушност, работи како волтметар кој за мерење различни големини користи соодветни преобразувачи.*

Иако е универзален инструмент, денешната технологија овозможува изработка со висока точност за мерењата на сите електрични големини.

Точноста, како и кај претходните видови инструменти, се определува преку апсолутната и релативната грешка. Дигиталните мултиметри во однос на нивната точност се делат во три групи:

- Дигитални мултиметри со 3 ½ цифри (се напојуваат со батерија);
- Индустриски дигитални мултиметри со 4 ½ цифри и 5 ½ цифри (се напојуваат од електрична мрежа, поретко од батерија);
- Специјални лабораториски дигитални мултиметри со 6 ½ и повеќе дигити, чија точност е поголема од 0,01 % и се користат како секундарни еталони за баждарење на мултиметрите од првите две групи.

Кај мултиметрите со дисплеј со 3 ½ дигити секоја цифра е составена од седум сегменти. Со активација на соодветните сегменти може да се запише секоја цифра од нула до девет, освен најзначајната цифра (првата лево), која може да биде само 0 или 1. Вредноста на еден дигит ја определува резолуцијата на соодветниот инструмент.



На следната табела (3.1) е прикажана вредноста на дигитот кај дисплеи со различен број цифри за мерно подрачје од 10 V:

Табела 3.1 Дигитални волтметри со различен број цифри

Вид на дигитален волтметар	Дисплеј	Вредност на дигит
3 ½	10.00	10 mV (0,01 V)
4 ½	10.000	1 mV
5 ½	10.0000	100 μV
6 ½	10.00000	10 μV
7 ½	10.000000	1 μV

### Пример за определување грешка кај дигитален инструмент:

Дигитален волтметар со 3 ½ дигити е со вкупна грешка од  $\Delta U = \pm(0,2pv + 3dig)$ ;  $A=0,2$  и  $B=3$ . Определи ги апсолутната и релативната грешка на инструментот, ако за мерно подрачје од 10 V е измерен напон од 9 V.

*Вкупната апсолутна грешка кај дигиталните мерни инструменти претходно е дадена со изразот 3.9:*

$$\Delta = \pm(A\%pv + Bdig)$$

#### Решение:

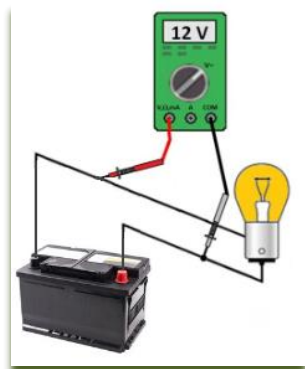
Апсолутна грешка:

$$\Delta U = \pm \left( 0,2 \cdot \frac{1}{100} \cdot 9V + 3 \cdot 10mV \right) = \pm(0,018V + 0,03V) = \pm 0,048 V$$

Релативна грешка:

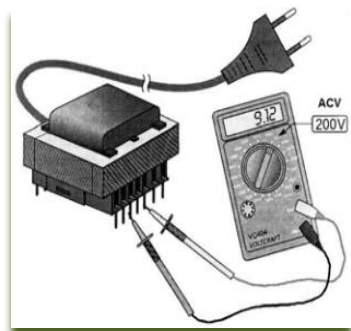
$$\delta\% = \pm \frac{\Delta U}{U} \cdot 100 = \pm 0,0053\%$$

### 3.7.5 МЕРЕЊЕ СО ДИГИТАЛЕН МУЛТИМЕТАР



Сл. 3.55 Мерење еднонасочен напон со дигитален мултиметар

**Мерење еднонасочен напон** - Прво се одбира DC мерното подрачје и се приклучуваат каблите на соодветните приклучоци во инструментот. Потоа, врвовите на каблите (сондите) се приклучуваат во точките на кои треба да се изврши мерењето на напон. Притоа, се внимава на бојата на мерните сонди, сондата со **црвена боја** е за позитивната точка (+), а сондата со **црна боја** е за негативната (-). Во случај сондите да се поврзани погрешно, на екранот од мултиметарот пред бројот се појавува знакот минус (-), што значи треба да се приклучат обратно.



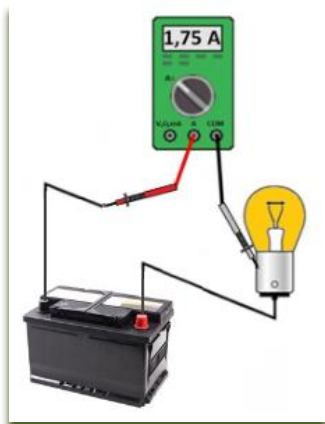
Слика 3.56 Мерење наизменичен напон со дигитален мултиметар

**Мерење наизменичен напон** - Се одбира AC мерно подрачје и се поврзуваат сондите со точките на кои се врши мерење напон. Измерената вредност се прикажува на екранот. Доколку мерената вредност е целосно непозната, секогаш се започнува со најголемото мерно подрачје.

**Мерење еднонасочна струја** - При мерење еднонасочни струи црвената сонда се приклучува во приклучокот означен со 10 A (ако се мерат струи поголеми од 200 mA) или во приклучокот означен со mA (за струи помали од 200 mA), како на слика 3.57. Црната сонда се приклучува во приклучокот означен со COM.



Слика 3.57 Приклучоци на дигитален инструмент за мерење електрична струја



Слика 3.58 Мерење еднонасочна струја со дигитален мултиметар

Потоа се врши избор на мерно подрачје, почнувајќи со најголемото подрачје. Доколку се изврши неправилен избор на мерно подрачје, се активира заштитниот осигурувач. При мерење електрична струја инструментот се поврзува во серија во гранката во која се врши мерењето, слика 3.58. Ако на екранот од инструментот се појави знакот (-) пред прикажаната бројна вредност, тоа значи дека црвената и црната сонда се обратно поврзани. Ако мерената струја е поголема од 10 A (или 200 mA за другиот приклучок), се активира заштитниот осигурувач.



**Мерење отпорност** - Мерењето отпорност со дигитален мултиметар започнува со избор на мерно подрачје означено со  $\Omega$ . Сондите на инструментот се приклучуваат како на сликата:

Слика 3.59 Приклучоци на дигитален инструмент за мерење отпорност

За проверка на сондите на инструментот се врши допирање на нивните врвови еден со друг и притоа на екранот треба да се прикаже отпорност од околу  $0,5 \Omega$ . Истото се постигнува и со звучен сигнал кој го испушта инструментот.



Отпорноста на отпорникот се мери само **кога тој е исклучен од електричното коло**, а сондите се поврзуваат паралелно со отпорникот чија отпорност се мери, слика 3.60. За стабилизација на вредноста на екранот е потребно одредено време, кое е подолго во случај на поголеми отпорности (на пример, за мегаомски отпорници трае и по неколку секунди).

Слика 3.60 Мерење отпорност со дигитален мултиметар струја

Во случај кога на екранот се прикажува 1 или OL, тоа значи дека не е одбрано соодветното мерно подрачје или мерниот круг е во прекин, односно некоја од сондите не го допира изводот на отпорникот. При мерење отпорност мерните точки мора да се чисти, без прав, маснотии, да не се премачкани со лак, во спротивно, резултатите од мерењето ќе бидат неточни.

### 3.7.6 ДИГИТАЛЕН ВАТМЕТАР



Сл. 3.61 Дигитален ватметар

**Електронските ватметри** се дигитални мерни инструменти за мерење моќност. Нивни предности во однос на електродинамичките инструменти се:

- мерење моќност во широко фреквенциско подрачје (од ниски индустриски фреквенции, до десетина MHz);
- отсуство на подвижен механизам;
- помала сопствена потрошувачка;
- поголема точност.

Нивната работа се сведува на принцип на **множење на моментните вредности на напонот на потрошувачот и струјата низ потрошувачот**. Ако напонот и струјата се со синусни бранови облици меѓу кои постои фазен агол  $\varphi$ , нивните релации се запишуваат на следниот начин:

$$u = U \cdot \sin \omega t; \quad i = I \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad \dots\dots\dots(3.38)$$

Оттука произлегува дека моментната вредност на моќноста изнесува:

$$p = u \cdot i = U \cdot I \cdot \sin \omega t \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad \dots\dots\dots(3.39)$$

што може да се запише и како:

$$p = u \cdot i = \frac{U \cdot I}{2} \cos \varphi - \frac{U \cdot I}{2} \cos(2\omega t + \varphi) \quad \dots\dots\dots(3.40)$$



Очигледно е дека изразот 3.40 за моментната моќност се состои од **два дела**: едниот е независен од времето (не се менува со  $t$ ) и ја претставува средната вредност на моќноста, а другиот дел е зависен од времето и е со двојно повисока фреквенција.

Значи, електронскиот ватметар може да се реализира како електронско коло за множење на напонот на потрошувачот и струјата низ потрошувачот. На излезот од множителот се добиваат две компоненти – едната е мерка за средната вредност на моќноста, а втората не е потребна. Таа е со двојно повисока фреквенција и се отстранува со нископропусен филтер (NF), слика 3.62.



Сл. 3.62 Блок-шема на дигитален ватметар

Основен склоп во блок-шешата на дигиталниот ватметар е **колото за множење**, на чиишто два влезе се доведува напон, кој е пропорционален со напонот на потрошувачот ( $U$ ) и напон, кој е пропорционален со струјата низ потрошувачот ( $I$ ). За таа цел дополнително се користат напонски и струјни мерни трансформатори (кои ќе се разработуваат во следната модуларна единица и кои во случајов не се прикажани).

Колото за множење има најголема улога во големината на **грешката** на дигиталниот ватметар. Напонскиот сигнал на излезот од колото за множење е производ од двата напони на влезот и е пропорционален со моментната моќност. Тој се засилува во **засилувачот**, кој е со коефициент на засилување соодветен за да се добие излезен напон со вредност пропорционална со струјата низ потрошувачот. Потоа, излезниот напон се филтрира со **нископропусен филтер** и се добива еднонасочен напон, кој е пропорционален со средната моќност. Овој напон се **дигитализира** и се мери со **дигитален волтметар**, кој е избјадарен во соодветни единици за моќност.

Други видови современи дигитални ватметри користат импулсно-широчински модулатор како коло за множење. Овој склоп има висока точност и грешка која е помала од  $\pm 0,01\%$  за фреквенциско подрачје до 200 kHz. Затоа и се користи за мерење моќност во најупотребуваното фреквенциско подрачје, за индустриска фреквенција од 50 Hz.

### 3.7.7 ДИГИТАЛНО БРОИЛО ЗА ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА

**Електронското дигитално броило** е мерен уред со кој се мери и се регистрира електричната енергија која е испорачана на потрошувачот во електроенергетскиот систем. Се употребува само за наизменична струја. Поседува повеќе предности во однос на класичните (индукциони) броила:

- нема подвижен механизам,
- грешките од мерењето се во потесни граници,
- резултатот од мерењето може да се пренесе на далечина,
- има поедноставна калибрација.

Електричната енергија  $W$  која потрошувачот ја троши се пресметува како производ од моќноста и времето:

$$W = P \cdot t \dots\dots\dots (3.41)$$

и претставува ангажирана моќност за одредено време. Се изразува во **kWh**.

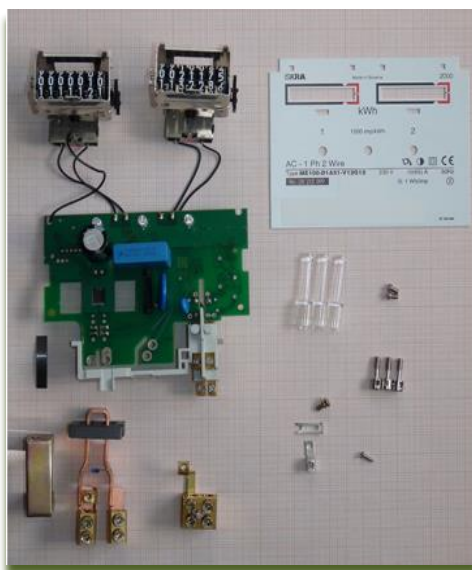


Сл. 3.63 Трофазни дигитални броила



*На излезот од броилото се добива електричен напон, кој е пропорционален со потрошената енергија за одредено време.*

Броилото содржи коло за множење, идентично како кај дигиталниот ватметар. Во логичкиот модул се врши множење на напонот и струјата, а со множење со изминатото време се добива износот на преземената електрична енергија, кој е испишан на дисплејот со течни кристали (LCD).



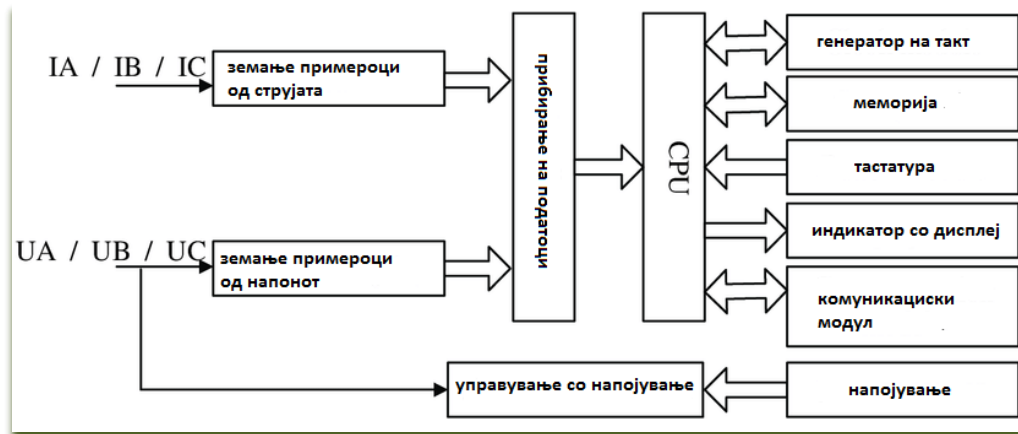
Сл. 3.64 Составни делови на дигитално броило

Во зависност од видот на електричниот приклучок, броилата може да бидат еднофазни и трифазни. Трифазните дигитални броила содржат три блока за множење, односно по едно коло за множење за секоја фаза. Излезите од трите кола за множење се сумираат во колото за собирање.



Сл. 3.65 Еднофазно и трифазно дигитално броило

Современите броила користат микропроцесори за моментна обработка на пристигнатите податоци за напонот, струјата и изминатото време, слика 3.66.



Сл. 3.66 Блок-шема на дигитално броило

Дигиталните броила ги меморираат (блокот меморија) регистрираните податоци, кои може и да се пренесат на далечина (блокот комуникациски модул) и да се обработуваат во компјутер.



Сл. 3.67 Трофазно дигитално броило со безжичен пренос на регистрирани податоци

Броилата имаат можност за мерење активна и реактивна енергија и одредување на врвната моќност во повеќе тарифи. Двотарифните и повеќетарифните броила можат одвоено да ја регистрираат потрошувачката во периодите утврдени со тарифниот систем. Тие самостојно ја префрлаат тарифата преку сопствен часовник и меморираните времиња за префрлање. Ваквите броила, освен



интегрираниот часовник, може да имаат и интегриран приемник за мрежно тонско управување, кој ги прима наредбите од мрежата и врз основа на нив ги префрла тарифите, ги менува поставените времиња на префрлање или го синхронизира часовникот на броилото.



- ❖ Дигиталните инструменти ги прикажуваат резултатите со бројна вредност на алфанумерички дисплеј.
- ❖ Предности на дигиталните мерни инструменти се поголема точност, поголема сигурност, мерат побрзо, немаат подвижни делови, триење, инертност на мерниот механизам и субјективна грешка при мерењето.
- ❖ Точноста на дигиталниот волтметар зависи од точноста на А/Д конверторот.
- ❖ Мерење електрична струја со дигитален амперметар, всушност, е мерење пад на напон на еталонски отпорник.
- ❖ Најчесто во практиката се употребува посредно мерење отпорност, преку мерење напон.
- ❖ Дигиталните мултиметри се мерни инструменти за мерење повеќе различни електрични големини.
- ❖ При мерење електрична струја мултиметарот се поврзува во серија во гранката во која се врши мерењето.
- ❖ Отпорност на отпорник се мери само кога тој е исклучен од електричното коло.
- ❖ Електронски ватметри се дигитални мерни инструменти за мерење моќност.
- ❖ Електронски ватметар се реализира како електронско коло за множење на напонот на потрошувачот и струјата низ потрошувачот.
- ❖ Електронско дигитално броило е мерен уред со кој се мери и се регистрира потрошена електрична енергија.
- ❖ На излез од дигиталното броило се добива електричен напон, кој е пропорционален со потрошената енергија за одредено време.

## 3.8 ОСЦИЛОСКОП

*Осцилоскоп претставува електронски инструмент кој овозможува визуелна претстава на периодични, непериодични и случајни бранови форми на електричните сигнали во графичка форма, најчесто како аналитичка функција во зависност од времето.* Влезната големина на осцилоскопот е електричен напон, но можат да се мерат и други физички големини кои можат да се претворат во напон. На неговиот екран во основниот режим на работа се добива осцилограм. Тоа е слика на брановата форма на влезната електрична големина. За правилна слика на екранот е потребно напонот на сигналот да нема промени за време на неговите периодични повторувања, или, пак, промените да бидат бавни.

Покрај визуелно следење на брановите форми на електричниот сигнал, со осцилоскоп можат да се мерат:

- амплитудата, периодата, фреквенцијата, фазната разлика на сигналот;
- нелинеарните изобличувања;
- времето на воспоставување импулсни сигнали и напонски скокови;
- еднонасочна и наизменична струја на индиректен начин.

Осцилоскопите можат да имаат еден или два електронски млаза. Со двомлазен осцилоскоп може да се одредува релативниот однос меѓу два сигнала меѓу кои постои врска.

Осцилоскопот се применува во научни истражувања, во медицината, во индустриското производство, во телекомуникациите и за образовни цели. Во автомобилската индустрија наоѓа примена како инструмент за специјална намена, како што е контрола на системот за палење или во медицината за контрола на функциите на срцето (ЕКГ – електрокардиограм).

Постојат различни видови на осцилоскопи, според принципот на обработка на сигналот можат да бидат:

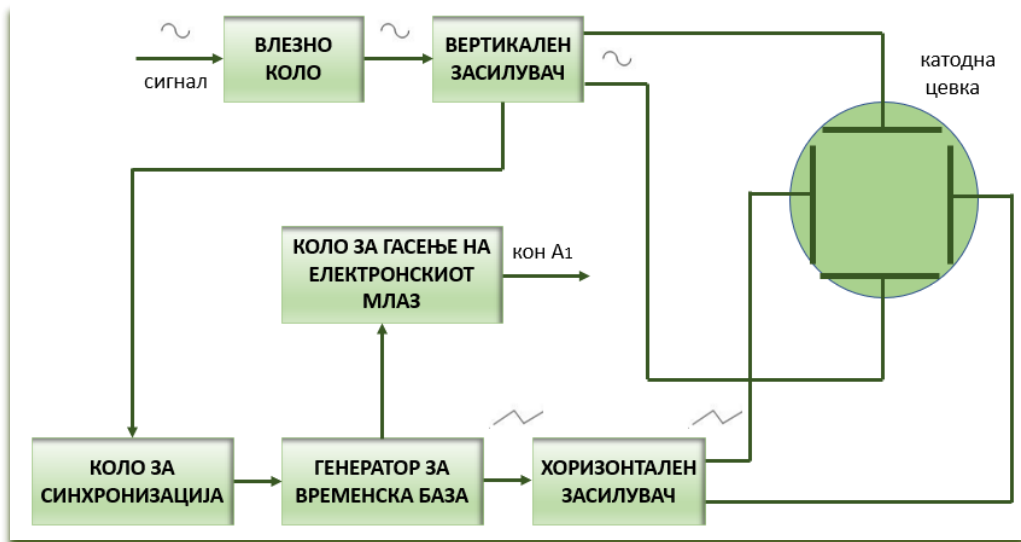
- Аналогни (со катодна цевка со еден и со два млаза);
- Дигитални (со LCD или LED панел).



### 3.8.1 ПРИНЦИП НА РАБОТА НА ОСЦИЛОСКОП СО КАТОДНА ЦЕВКА

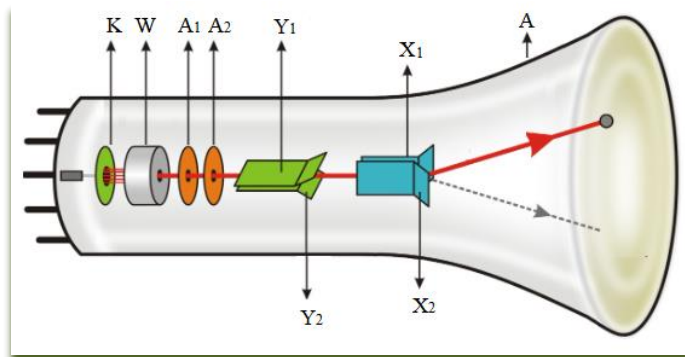
Осцилокопот е составен од четири основни секции: *индикаторска (катодна цевка), вертикално отклонување, хоризонтално отклонување и стартовачка секција.*

Блок-шема на катоден осцилокоп е прикажана на слика 3.68.



Слика 3.68 Блок-шема на катоден осцилокоп

Како *индикатор (дисплеј)* се употребува **катодна цевка**, LCD или LED панел со мрежа од хоризонтални и вертикални линии. Катодна цевка (слика 3.69) е електронска цевка во која со сноп електрони, фокусирани во една точка на предниот дел од цевката, се формира слика на екранот. Таа е составена од **електронски топ** кој емитува електрони, **систем за фокусирање** на млазот електрони и нивно насочување кон екранот, **систем за вертикално и хоризонтално отклонување** на електронскиот млаз и **екран**, премачкан со фосфорен материјал. Екранот има правоаголна форма со дијагонала од 12 до 16 cm.



Слика 3.69 Составни делови на катодната цевка

Електронскиот топ е составен од **катода K** со спирала за греење, од која се емитираат електрони, електрода во форма на решетка, позната како **Венелтов цилиндар W**, преку која поминуваат електроните под влијание на јако електрично поле создадено од надворешен извор за напојување и анодите **A<sub>1</sub>** и **A<sub>2</sub>** и **A**. Венелтовиот цилиндар е на негативен напон во однос на катодата (од  $-20\text{ V}$  до  $-40\text{ V}$ ). Со промена на напонот на Венелтовиот цилиндар се регулира бројот на електроните во електронскиот млаз, а на тој начин и јачината на светлината на светлата точката на екранот.

**Системот за фокусирање и забрзување** на млазот е составен од анодите **A<sub>1</sub>**, **A<sub>2</sub>** и **A**. Со анодата **A<sub>1</sub>** се фокусира електронскиот млаз во тенок млаз и таа е на позитивен потенцијал од  $300$  до  $500\text{ V}$ . Со анодата **A<sub>2</sub>** се забрзува млазот. Таа се наоѓа на потенцијал од  $700$  до  $800\text{ V}$ . Овие потенцијали се сметаат во однос на катодата. Анодата **A** е изработена од пласт од графит нанесен на внатрешниот конусен дел на катодната цевка блиску до екранот. Таа е приклучена на висок напон од  $2$  до  $5\text{ kV}$ .

Предниот дел на катодната цевка – **екранот** од внатре е премачкан со фосфор кој има својство на флуоросценција – кога на неговата површина удираат електрони со голема кинетичка енергија, фосфорот емитира светлина. Екранот има особина да ја задржува светлината одредено време и по престанокот на дејството на електронскиот млаз, со што се овозможува следење брзи промени на сигналот. Со дејството на отклонскиот систем, светлата точка се движи по екранот и на тој начин се добива брановиот облик на мерениот сигнал.

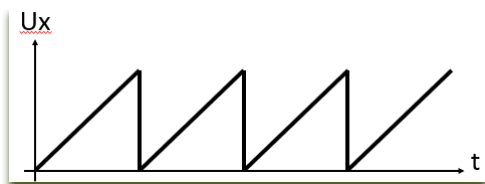


### 3.8.1.1 ОТКЛОНСКИ СИСТЕМ

**Отклонскиот систем** е составен од две плочки за вертикално и две за хоризонтално отклонување на млазот. Со **вертикалните отклонски плочки  $Y_1$  и  $Y_2$** , кои се хоризонтално поставени, електронскиот млаз се отклонува вертикално, додека со **хоризонталните отклонски плочки  $X_1$  и  $X_2$** , кои се вертикално поставени, електронскиот млаз се отклонува хоризонтално. Двата пара отклонски плочки се симетрично поставени во однос на оската на осцилоскопот, и секој пар поединечно претставува плочест кондензатор со капацитивност од околу 10 pF. На вертикалните отклонски плочи се приклучува напонот на сигналот, а на хоризонталните, напон за временската база, создаден интерно или донесен од надворешен извор за одредување на времето за кое млазот го поминува патот по хоризонталата. Ако на отклонските плочки не е приклучен напон, електронскиот млаз создава светла точка на средината на екранот.

*Сигналот што се мери е доведен на вертикалните или  $Y$ -отклонски плочи.* Поради малата напонска чувствителност на катодната цевка, за добивање соодветен отклон по вертикала малите влезни сигнали треба да се засилат. За засилување на напонот на сигналот се потребни соодветни мерни напонски засилувачи. За мерење сигнали во пошироко мерно подрачје од најмали до најголеми, пред  **$Y$ -засилувачот** е ставен блок **напонски делител–атенуатор**. Со овој блок се овозможува сигналите со мала амплитуда да се проследат кон засилувачот, а оние со голема амплитуда да ослабат. Мерниот опсег се движи од 1 mV до 20 V.

При операцијата на мерење, осцилоскопот не смее да го оптоварува мерното коло. Поради тоа, а истовремено да се овозможи мерење сигнали со широк опсег на фреквенции, влезната импеданса на засилувачот треба да биде многу голема, фреквенциската карактеристика доволно широка, а самиот засилувач да има добра линеарност и да не внесува изобличувања.



Слика 3.70 Пилоест напон – напон на плочите за хоризонтално отклонување

За хоризонтално поместување на електронскиот млаз по екранот со константна брзина, и негово враќање, на плочите за хоризонтално отклонување треба да се доведе напон со линеарна

зависност од времето. Таква карактеристика има пилест напон (слика 3.70).

Пилестиот напон има задача да го отклонува електронскиот млаз по хоризонтала. На тој начин се добива временска основа или **временска база**, која ни овозможува визуелно следење на сигналот на X-Y рамнината на екранот. Тој, исто така, треба да се засили и тоа се прави со **X-засилувачот**. Тој треба да има слични карактеристики како и Y-засилувачот и да поминува преку напонски делител за изедначување на малите со големите сигнали на временската база. Мерниот опсег се движи од 50 ns (наносекунди) до 500 ms (милисекунди).

Напонот за временската база се добива од вграден генератор во осцилоскопот (интерна временска база) или од надворешен извор (екстерна временска база).

### 3.8.1.2 СТАРТУВАЧКА СЕКЦИЈА

Со стартувачката секција се одредува моментот во кој започнува прикажувањето на графикот, односно почетокот на графикот на сигналот. Стартувањето може да се врши автоматски – да започнува секогаш по завршеното прикажување на одреден дел на сигналот, или со внатрешен сигнал со нагодување од сопствената електроника или со надворешен сигнал за временската база.

За следење и мерење напонски сигнали со краткотрајни периодични бранови форми е потребна временска база за стартувачки импулс (Trigger), која се вклучува само кога постои сигнал на Y-влезот.

Во осцилоскопот има вграден **блок за синхронизација** со кој се синхронизира почетокот на мерениот напон со напонот на временската база. На тој начин се добива стабилна слика. Синхронизацијата се прави на три начини:

- ✱ со импулси од внатрешниот блок за синхронизација (INT);
- ✱ со надворешен напон за синхронизација (EXT);
- ✱ со напонот на мрежата (50Hz).

За приклучување надворешни сигнали за временската база и за стартување е поставен коаксијален приклучок означен со TRIG/EXT.



Осцилокопот може да работи и во таканаречениот X–Y режим, во кој се исклучува временската база, а за хоризонтален отклон се доведува надворешен напон. Овој режим се користи за снимање карактеристики на зависност на напонот на Y–влезот од напонот на X–влезот (при снимање карактеристики на диоди или на кривата на хистерезниот циклус на магнетните материјали).

### 3.8.2 ДИГИТАЛЕН ОСЦИЛОСКОП

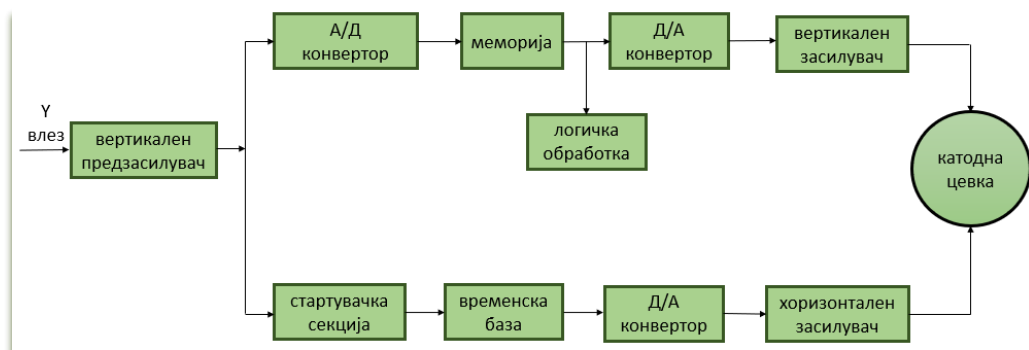
Брзиот развој на технологијата, како и зголемувањето на можностите на дигиталните компоненти и падот на нивната цена, доведе до навлегувањето на дигиталната технологија во сите области на електрониката, вклучително и во полето на електричните мерења. Развојот на дигиталните осцилоскопи се движеше во два правца. Едниот води кон развој на **логички анализатори** наменети за набљудување на сигналот во сложени дигитални системи. Кај логичките анализатори точното познавање на моменталната вредност на сигналот не е значајно, доволно е да се знае логичката вредност на сигналот. Од големо значење е можноста за набљудување голем број независни сигнали (секако, повеќе од двата канала обезбедени од стандардните аналогни осцилоскопи), како и можноста за следење на сигналот во подолг временски период. Другиот правец во развојот се модерните **дигитални осцилоскопи**, кои по командите минимално се разликуваат од аналогните осцилоскопи и ја претставуваат нивната дигитална имплементација.



Слика 3.71 Изглед и слика на екран на дигитален осцилоскоп

Дополнителните можности што ги нудат дигиталните осцилоскопи се, пред сè, можноста за меморирање на резултатите од мерењето, како и низа автоматизирани мерења кои се базираат на дигитална обработка на

сигнали. Со дигиталните осцилоскопи се мери средната вредност на набљудуваниот сигнал, ефективната вредност, амплитудата, минималната и максималната вредност, периодот и времетраењето на растечките и опаѓачките рабови на дигиталните импулси. Овие осцилоскопи имаат висок фреквентен опсег, можност за дигитална обработка на сигналите во реално време и можност за меморирање на примените податоци. Дигиталниот осцилоскоп овозможува следење сигнали со ниски фреквенции што не е можно да се реализира со аналогните осцилоскопи. Со мемориски осцилоскоп се овозможува задржување на сликата на екранот подолг временски период. Тоа дава можност за споредување сигнали кои не се случуваат истовремено.



Слика 3.72 Блок-шема на дигитален осцилоскоп

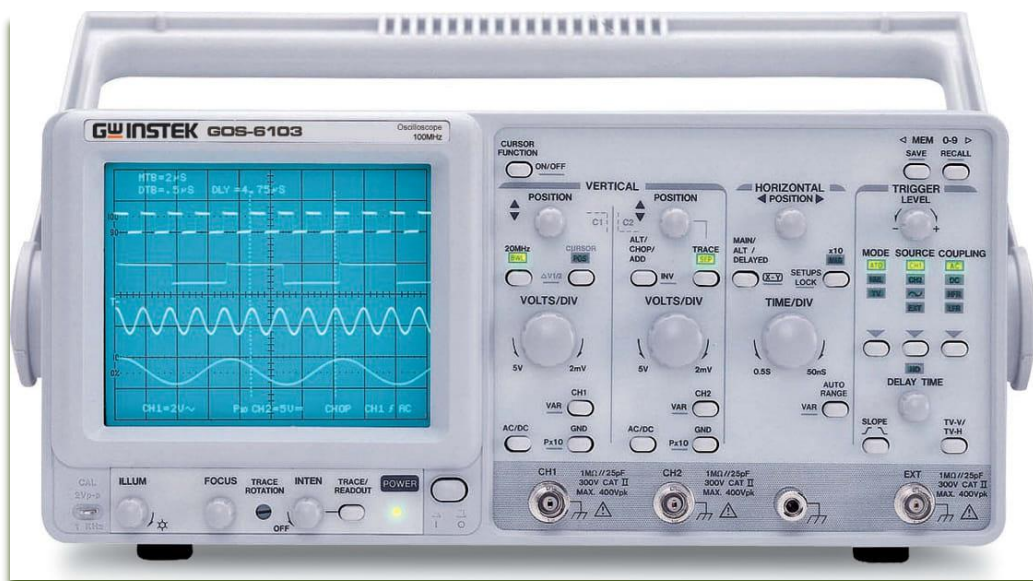
На слика 3.72 е прикажана блок-шема на дигитален осцилоскоп. Сигналот доведен на  $Y$  - влезот, засилен со предзасилувачот, се конвертира во дигитална форма со А/Д конверторот. Добиениот дигитален сигнал се меморира, а потоа со хоризонталниот и вертикалниот Д/А конвертор се претвора во аналоген сигнал потребен за отклонските системи. Дигиталниот сигнал од меморијата може повеќекратно да се прикаже на екранот. Недостатокот на дисплејот при ниски фреквенции е во тоа што сигналите со големи временски периоди го губат претходниот импулс пред да се појави следниот импулс. Со меморијата се овозможува повторување на претходниот импулс истовремено со следниот импулс.



### 3.8.3 МЕРЕЊЕ СО ОСЦИЛОСКОП

За мерење на сигналот се употребува мерна сонда која може да се приклучи на која и да е мерна точка. За сигнали со големи амплитуди во сондата е вграден атенуатор, отпорен ослабувач со кој се приспособува јачината на влезниот сигнал со  $Y$  - влезот на вертикалната секција на осцилоскопот. За таа цел, на сондата е ставен преклопник со положби означени со „ $x1$ ” за директно приклучување на сигналот без слабеење или со „ $x10$ ” со што се ослабува сигналот десет пати пред да се доведе до вертикалната секција.

Сигналот кој се мери се приклучува на влезен приклучок на вертикалната секција ( $Y$ -влез). Тоа е коаксијален приклучок со централен спроводник и надворешен оклоп кој е поврзан со шасијата на осцилоскопот. Кај осцилоскоп за општа намена, влезната импеданса изнесува  $1\text{ M}\Omega$  со паралелно приклучена еквивалентна капацитивност од  $20\text{ pF}$ . На тој приклучок се носат еднонасочни, наизменични и комбинирани напони. Влезниот напон преку вертикалниот засилувач се носи на вертикалните отклонски плочки и го отклонува електронскиот млаз по вертикала.



Слика 3.73 Преден панел на аналоген осцилоскоп GW Instek GOS-6103

На влезот на Y-приклучокот е ставен преклопник за видот на сигналот со три положби: наизменичен (AC), заземјен (GND) и еднонасочен (DC). За мерење наизменични сигнали и комбинирани сигнали со наизменична и еднонасочна компонента преклопникот треба да стои во положба AC, за еднонасочни во положба DC, а положбата GND служи да се доведе хоризонталниот светлечки млаз во почетната положба, односно на местото на средната хоризонтална линија на мрежата на екранот. Тоа се прави пред да почне мерењето. За нејзиното вертикално поместување служи потенциометар означен со V Pos.

### 3.8.3.1 МЕРЕЊЕ НАПОН СО ОСЦИЛОСКОП

Кога се мери еднонасочен напон, преклопникот треба да стои во положба DC. Во таа положба хоризонталната линија се движи нагоре над нултата линија кога мерениот напон е позитивен, а надолу под нултата линија кога е негативен.

На патот на сигналот е поставен ослабувач-атенуатор со конструкција на повеќекратен делител на напон. Неговата ознака е V/div, а секоја негова положба ја одредува вредноста на напонот на еден поделок на вертикалата на мрежата на екранот.

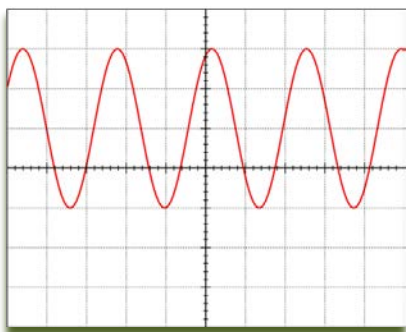
*Така, на пример, кога графикот има амплитуда со 5 поделоци, а преклопникот е во положба 10 mV/div (10 милivolти по поделок), измерениот напон изнесува:*

$$10 \text{ mV/div} \times 5 \text{ div} = 50 \text{ mV}.$$

Во секцијата за хоризонталниот отклон со временската база се одредува периодата на мерениот сигнал кој се прикажува на екранот. Времето на сопствената временска база на осцилоскопот се бира со преклопникот, означен со TIME/div. Така, ако преклопникот стои во положбата 5 msec/div, секој хоризонтален поделок (квадрат) на мрежата има вредност 5 msec.

*Така, на пример, кога графикот има периода од 5 поделоци, а преклопникот е во положба 5 msec/div (5 милисекунди по поделок), измерената периода изнесува:*

$$T = 5 \text{ msec/div} \times 5 \text{ div} = 25 \text{ msec}.$$



Во примерот од графикот, добиен со мерење наизменичен напон, прикажан на слика 3.74, преклопникот на Y-влезот е поставен во положба 5 V/div, преклопникот на временската база (X селектор) стои во положба 5 msec/div.

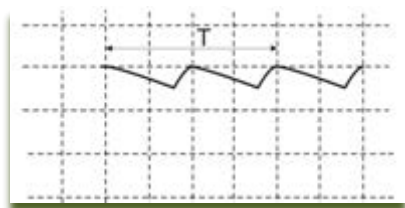
Слика 3.74 График на наизменичен напон на екранот на осцилоскоп

Пред да започне мерењето, преклопникот на Y-влезот се поставува во положбата GND и со потенциометарот V POS ја нагдуваме хоризонталната линија да се поклопи со средната линија на мрежата на екранот.

Од добиениот график се одредуваат следниве вредности:

- двојната амплитуда на напонот  $U_{PP}$  (од врв до врв) изнесува:  
 $U_{PP} = 4 \text{ div} \times 5 \text{ V/div} = 20 \text{ V}$
- за максималната вредност на напонот се добива:  
 $U_{\max} = U_{PP}/2 = 10 \text{ V}$
- ефективната вредност на напонот е:  
 $U = U_{\max}/\sqrt{2} = 10/\sqrt{2} = 14,1 \text{ V}$
- периодата на напонот е  
 $T = 4 \text{ div} \times 5 \text{ msec/div} = 20 \text{ msec}$
- фреквенцијата изнесува:  
 $f = 1/T = 1/20 \text{ msec} = 50 \text{ Hz}$ .

Хоризонталното поместување на графикот се прави со потенциометар, означен со H-pos, со кој може да се нагоди почетокот на периодата.



Слика 3.75 График на комбиниран напон на екранот на осцилоскопот

Друг пример е мерење комбиниран напон, кој покрај еднонасочната компонента содржи и наизменична компонента. Прикажаниот график од овој пример се добива во коло за насочување мрежен напон, а мерењето се прави на кондензаторот за филтрирање (слика 3.75).

Преклопникот на мерната сонда се става во положба 10:1. Да се измери еднонасочниот напон, преклопникот на Y-влезот прво се става во положбата GND и со потенциометрот V POS се нагодува хоризонталната линија на најдолната линија од мрежата на екранот. Потоа се одбира соодветна положба на преклопникот на Y-влезот, така што графикот да биде во границите на мрежата на екранот. Еднонасочната вредност на напонот се одредува, како што претходно е покажано, како производ на бројот на поделоците со вредноста на положбата на селекторот.

*Така, на пример, ако се одбере 2 V/div, а на графикот се избројани 3 поделоци, вредноста на еднонасочниот напон ќе биде:*

$$U = 2 \text{ V/div} \times 3 \text{ div} = 6 \text{ V}, \text{ а поради слабењето на сондата } 6 \text{ V} \times 10 = 60 \text{ V}.$$

Доколку еднонасочната вредност на напонот е многу поголема од наизменичната, се менуваат положбите да бидат како за мерење на наизменичните сигнали. Положбата на преклопникот на сондата се менува во состојба 1:1, влезниот преклопник се става во положба GND да се изедначи хоризонталната линија со средната линија на мрежата, преклопникот на влезот се става во положба 2 mV/div, а временската база не се менува.

Од графикот можат да се добијат следниве вредности:

- амплитуда на напонот 1 mV
- периода на напонот 20 msec.

### 3.8.3.2 МЕРЕЊЕ ФАЗНА РАЗЛИКА СО ОСЦИЛОСКОП

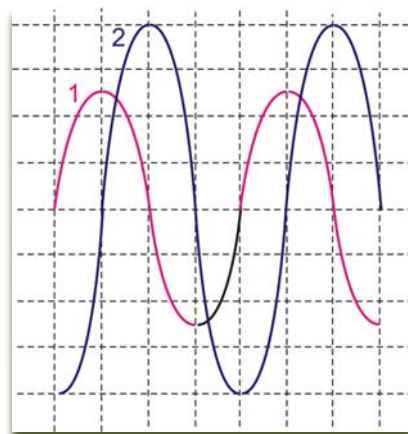
За мерење фазна разлика се користи двоканален осцилоскоп. Таа се пресметува според релацијата:

$$\varphi = 360^\circ \cdot \frac{\text{(растојание меѓу двата графика)}}{\text{(периода)}} \dots\dots\dots(3.42)$$



Фазното доцнење на сигналот од вториот канал во однос на сигналот од првиот канал, за прикажаните графици на слика 3.76, се пресметува како:

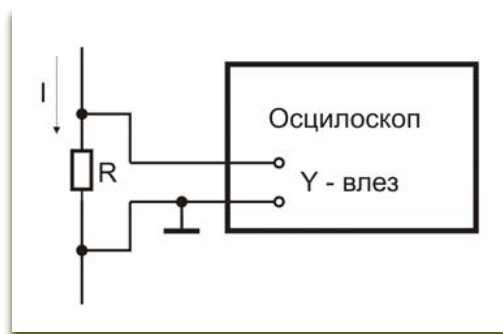
$$\varphi = 360^\circ \cdot \frac{1}{4} = 90^\circ \quad \dots\dots\dots(3.43)$$



Слика 3.76 Мерење фазно доцнење

### 3.8.3.3 МЕРЕЊЕ СТРУЈА СО ОСЦИЛОСКОП

За мерење на струјата е потребно таа да се претстави како напон. Тоа се прави едноставно со ставање отпорник со точно позната вредност во гранката на колото каде треба да се мери струјата (слика 3.77). Во практиката тој отпор треба да има мала вредност за да се намали внесената грешка при мерењето. Сондата на осцилоскопот за Y-влезот се приклучува на краевите на тој отпорник, а графикот го претставува падот на напонот на неговите краеве и тој во исто време го претставува графикот на струјата. Јачината на струјата се одредува според Омовиот закон ( $I=U/R$ ), а кога струјата е наизменична, нејзината фреквенција се одредува на ист начин како и наизменичниот напон.



Слика 3.77 Мерење струја со осцилоскоп



- ❖ Осцилоскоп е електронски инструмент за графичко прикажување и мерење електрични сигнали.
- ❖ Со двомлазен осцилоскоп може да се одредува однос меѓу два сигнала.
- ❖ Осцилокопот е составен од четири основни секции: индикаторска, вертикално отклонување, хоризонтално отклонување и стартувачка секција.
- ❖ Отклонскиот систем на осцилоскоп е составен од две плочки за вертикално и две за хоризонтално отклонување на електронскиот млаз.
- ❖ Сигналот што се мери се доведува на вертикалните или Y-отклонски плочи.
- ❖ За мерење напон, преклопникот од Y-приклучокот се поставува во една од трите положби: наизменичен (AC), заземјен (GND) и еднонасочен (DC).
- ❖ За мерење фазна разлика се користи двоканален осцилоскоп.
- ❖ При мерење струја со осцилоскоп таа се претставува како напон на отпорник со точно позната вредност во гранката во која се мери.



## Прашања за утврдување на знаењата од Модуларна единица 3



1. Што е разликата меѓу електричен и електронски мерен инструмент?
2. Какви се влезната импеданса, чувствителноста и грешката кај електронските инструменти?
3. Наведи ги предностите на електронските во однос на електричните инструменти.
4. Што е брзина на отчитување?
5. Наведи ги недостатоците на електронските во однос на електричните инструменти.
6. Што е задачата на мерниот засилувач?
7. Како се дефинира коефициентот на засилување кај мерен засилувач?
8. Што претставува постапка на квантизирање?
9. Од што зависи вкупната апсолутна грешка кај дигиталните инструменти?
10. Што е А/Д конвертор?
11. Врз која појава се заснова работата на инструмент со вртлива намотка?
12. Што ја придвижува подвижната намотка кај инструмент со вртлива намотка?
13. Според кое правило се утврдува насоката на магнетната сила кај инструмент со вртлива намотка?
14. Изведи ја равенката за аголот на отклон  $\alpha$  кај инструмент со вртлива намотка.
15. Колкава е струјата на основното подрачје кај инструмент со вртлива намотка?
16. Како се вика постапката за проширување струјно мерно подрачје?
17. Што е шант?
18. Изведи ја равенката за отпорноста на шантот при проширување на струјното мерно подрачје.
19. Од кои делови е составен еден аналоген електричен инструмент?
20. Од што е изграден механизмот за задвижување кај аналогните електронски инструменти? Како се дефинира чувствителност кај аналогните мерни инструменти?

21. Според која релација се пресметува резултатот од мерењето кај аналогните мерни инструменти?
22. Како се приклучува омметар во коло за мерење отпорност?
23. Со какво мерно подрачје започнува секое мерење?
24. Објасни ја постапката за мерење еднонасочен напон.
25. Објасни ја постапката за мерење наизменичен напон од градска мрежа.
26. На кое подрачје треба да се нагоди унимер за мерење напон од градска мрежа?
27. Како се поврзува унимер во електрично коло за мерење напон?
28. Како се поврзува унимер во електрично коло за мерење струја?
29. Како се поврзува унимер во електрично коло за мерење отпор?
30. На кој начин се избегнува користење на инструментот како амперметар при мерење струја?
31. Зошто при мерење отпорност скалата е поставена од десно кон лево (обратно)?
32. Како се добива резултатот при мерење отпорност со аналоген унимер?
33. Што значи зборот дигит?
34. Кои се предностите на дигиталните инструменти?
35. Кои се недостатоците на дигиталните мерни инструменти?
36. Кои големини можат да се мерат со дигитален мултиметар?
37. Нацртај го основното мерно коло кај дигитален мултиметар.
38. Зошто служат отпорникот и кондензаторот на влез од основното мерно коло (ОМК) кај дигитален мултиметар?
39. Зошто служи А/Д конверторот кај дигиталниот мултиметар?
40. Објасни ја постапката за нагодување инструмент и начин на мерење ДС напон со дигитален унимер.
41. Објасни ја постапката за нагодување инструмент и начин на мерење АС напон со дигитален унимер.
42. Објасни ја постапката за нагодување инструмент и начин на мерење ДС струја со дигитален унимер.
43. Објасни ја постапката за нагодување инструмент и начин на мерење отпор со дигитален унимер.
44. Каков осцилоскоп се користи за споредување два сигнала?
45. Кој дел (секција) од осцилоскопот го исцртува сигналот на екранот?
46. За каков вид на мерења се користи осцилоскоп?



## ТЕМАТСКО УТВРДУВАЊЕ

### I Прашања со заокружување

1. Електронските мерни инструменти имаат:
  - А) голема чувствителност
  - Б) мала влезна импеданса
  - В) голема грешка
2. Електронски инструмент е електричен инструмент со:
  - А) преобразувач на отпорност во напон
  - Б) А/Д конвертор
  - В) мерен засилувач
3. Кај аналогниот покажувач, отклонот на стрелката е:
  - А) обратно пропорционален со мерената големина
  - Б) право пропорционален со мерената големина
  - В) еднаков на мерената големина
4. Механизмот кај електронските аналогни мерни инструменти е:
  - А) механички
  - Б) електромеханички
  - В) магнетоелектричен
5. За мерење струја или отпорност аналогните електронски инструменти користат преобразувач на мерената големина во:
  - А) напон
  - Б) струја
  - В) отпорност
6. Зголемувањето на бројот на кванти  $N$  во постапката на дигитализација:
  - А) ја зголемува релативната грешка
  - Б) ја намалува релативната грешка
  - В) не влијае врз релативната грешка
7. Силата која предизвикува движење спроводник во хомогено магнетно поле се нарекува:
  - А) електрична сила
  - Б) магнетна сила
  - В) електромагнетна сила



8. Вртливата намотка се изработува од
- А) манган
  - Б) бакар
  - В) алуминиум
9. За проширување струјно мерно подрачје кај инструмент со вртлива намотка се користи:
- А) отпорник со негативен температурен коефициент
  - Б) предотпорник
  - В) шант
10. Класата на точност на шантот треба да е:
- А) повисока од класата на инструментот
  - Б) пониска од класата на инструментот
  - В) еднаква со класата на инструментот
11. За проширување напонско мерно подрачје кај инструмент со вртлива намотка се користи:
- А) отпорник со позитивен температурен коефициент
  - Б) предотпорник
  - В) шант
12. Преотпорникот кај инструмент со вртлива намотка се изработува од:
- А) бакар
  - Б) манганин
  - В) бронза
13. За инструмент со повеќе мерни подрачја се употребува:
- А) капацитивен делител
  - Б) индуктивен делител
  - В) отпорнички делител
14. Инструмент со вртлива намотка мери:
- А) само еднонасочни струи и напони
  - Б) само наизменични струи и напони
  - В) еднонасочни и наизменични струи и напони



15. Основен елемент кај преобразувачите од наизменична во еднонасочна големина е:
- А) кондензатор
  - Б) транзистор
  - В) диода
16. Кај аналогните инструменти за наизменичен напон, скалата е баждарена за покажување:
- А) средна вредност
  - Б) максимална вредност
  - В) ефективна вредност
17. Точноста на дигиталниот волтметар најмногу зависи од точноста на:
- А) засилувачот
  - Б) бројачот
  - В) А/Д конверторот
18. Дигиталниот амперметар се користи за мерење:
- А) отпорност
  - Б) моќност
  - В) струја
19. Електронските ватметри се користат за мерење:
- А) напон
  - Б) моќност
  - В) отпорност
20. Дигиталното броило мери:
- А) електрична моќност
  - Б) електрична енергија
  - В) електрична струја
21. Осцилоскоп е електронски инструмент кој мерената големина ја прикажува:
- А) во графичка форма
  - Б) во нумеричка форма
  - В) во текстуална форма

## II Прашања со дополнување

1. Аналогниот електричен инструмент со употреба на \_\_\_\_\_ се претвора во електронски мерен инструмент со голема чувствителност.
2. Основна улога на мерните засилувачи е да ја засилат мерената големина до нивото кое е потребно за да се изврши \_\_\_\_\_ мерење.
3. Основен параметар на мерниот засилувач е \_\_\_\_\_.
4. Преобразбата на аналогната големина во дигитална се остварува со \_\_\_\_\_.
5. Насоката на електромагнетната сила се одредува според Правилото на \_\_\_\_\_ рака.
6. Аголот на свртувањето на намотката е \_\_\_\_\_ пропорционален со струјата која тече низ намотката.
7. Струјата за која инструментот има максимален отклон е \_\_\_\_\_ мерно подрачје.
8. Постапката за проширување на струјното мерно подрачје е \_\_\_\_\_.
9. Ако мерниот инструмент треба да има повеќе напонски мерни подрачја, тоа се остварува со употреба на \_\_\_\_\_.
10. Мерената големина кај аналоген инструмент се отчитува со бројот на \_\_\_\_\_ на скалата.
11. Карактеристики на аналогните електронски волтметри за еднонасочен напон се \_\_\_\_\_ и \_\_\_\_\_.
12. Волтметарот секогаш се поврзува \_\_\_\_\_ со компонентата на електричното коло на која се врши мерење на напонот.
13. Мерењето на електрична струја е мерење на \_\_\_\_\_ што струјата го прави низ некој познат отпорник.
14. Амперметарот се поврзува \_\_\_\_\_ во гранката чија јачина на струја се мери.
15. Омметарот секогаш се поврзува во електричното коло кога \_\_\_\_\_ струја низ него.
16. Отпорот се мери со \_\_\_\_\_ поврзување на омметарот со дадениот отпорник.
17. Универзалните мерни инструменти се познати и како \_\_\_\_\_.



18. Електронските ватметри се дигитални мерни инструменти за мерење \_\_\_\_\_.
19. Дигиталното броило се употребува само за \_\_\_\_\_ струја.
20. Двотарифните и повеќетарифните броила можат \_\_\_\_\_ да ја регистрираат потрошувачката во периодите утврдени со тарифниот систем.
21. Осцилоскопот е составен од четири основни секции: \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ и \_\_\_\_\_.
22. Сигналот што се мери се доведува на \_\_\_\_\_ отклонски плочи.
23. За мерење фазна разлика се користи \_\_\_\_\_ осцилоскоп.



### III Задачи

#### Примери:

1. Да се димензионира шант за инструмент со вртлива намотка со отпор  $R_i = 100 \Omega$  и струја на основното мерно подрачје  $I_i = 10 \text{ mA}$ . Инструментот треба да има мерно подрачје од  $100 \text{ A}$ .

#### Решение:

$$n = I/I_i = 100/0,01 = 10000$$

$$R_s = R_i/n - 1 = 100/10000 - 1 = 0,010001 \Omega$$

2. Нека е даден дигитален мултиметар чијашто грешка изнесува  $\Delta = \pm (0,3\% + 1 \text{ dig})$ . Ако инструментот е со  $3 \frac{1}{2}$  цифри а мерното подрачје е  $20 \text{ V}$ , пресметај ја апсолутната грешка на инструментот при мерење на ова мерно подрачје.

**Решение:**

$$\Delta = \pm \left( \frac{0,3 \cdot U_{MP}}{100} + 10 \text{ mV} \right) = \pm \left( \frac{0,3 \cdot 20 \text{ V}}{100} + 10 \text{ mV} \right)$$

$$\Delta = \pm(0,06 \text{ V} + 10 \text{ mV}) = \pm 70 \text{ mV}$$


**Реши ги следните задачи:**

3. Да се димензионира шант за инструмент со вртлива намотка со отпорност  $R_i=50 \Omega$  и струја на основното мерно подрачје  $I_i=20 \text{ mA}$ . Инструментот треба да има мерно подрачје од  $90 \text{ A}$ .
4. Колкаво подрачје ќе се добие кај инструмент со вртлива намотка кој има внатрешна отпорност од  $100 \Omega$  и струја на основно мерно подрачје од  $20 \text{ mA}$  доколку е употребен шант со отпорност од  $1 \Omega$ ?
5. Инструмент со вртлива намотка со отпорност  $R_i=100 \Omega$  и струја на полн отклон  $I_i=10 \text{ mA}$ , треба да се користи како волтметар со мерно подрачје од  $U=50 \text{ V}$ . Да се димензионира вредноста на предотпорникот.
6. Реши ја задача 2 од примерите за мерно подрачје од  $200 \text{ V}$ .
7. Дигитален волтметар со  $4 \frac{1}{2}$  дигити е со вкупна грешка од  $\Delta U = \pm(0,4\% \text{pv} + 2 \text{ dig})$ . Да се определи апсолутна и релативна грешка на инструментот ако на мерно подрачје од  $10 \text{ V}$  е измерен напон од  $6 \text{ V}$ .
8. За колку поделоци ќе се придвижи стрелката на волтметарот ако мерениот напон е  $220 \text{ V}$ , мерното подрачје е  $500 \text{ V}$ , а скалата е со  $100$  поделоци?
9. Колкава е вредноста на еден поделок од задача 8?



## **4. МЕРНИ ТРАНСФОРМАТОРИ**

Со изучување на содржините од оваа модуларна единица ученикот ќе научи да:

- практикува напонски и струјни мерни трансформатори;
  - опишува конструкција и ознаки на напонски и струјни мерни трансформатори;
  - поврзува и да контролира означување приклучни краеве на напонски и струјни мерни трансформатори.
- 





## 4. МЕРНИ ТРАНСФОРМАТОРИ

При мерење релативно мали вредности на напон, струја и моќност се користат стандардни мерни инструменти (волтметри, амперметри и ватметри), кои непосредно се вклучуваат во мерното струјно коло. Меѓутоа, за мерење поголеми вредности на електричните големини, мерните инструменти треба да имаат специјална конструкција – тоа значи големи димензии, при што не се практични за употреба. Затоа, во услови на висок напон и големи јачини на струи, мерното подрачје на инструментите се проширува со **мерни трансформатори** чија улога е погонската струја и напон да ги трансформира на големини кои овозможуваат нивно мерење со стандардни инструменти.



Сл. 4.1: Мерен трансформатор

Со примена на мерните трансформатори:

- мерните инструменти и уреди се изолираат од високиот напон во мерното коло со што се поедноставува нивната конструкција, а ракувањето со нив е безбедно;
- мерените струи и напони со различни вредности се трансформираат секогаш на исти номинални вредности (струи од 1 А, 2 А, и 5 А и напони од 100 V, 200 V,  $100/\sqrt{3}$  V и  $200/\sqrt{3}$  V), со што се намалува бројот на потребните мерни инструменти и се овозможува нивно сервиско производство;
- мерните инструменти и уреди со посебни изведби на мерните трансформатори се заштитени од термичкото и динамичкото дејство на струјата на куса врска;
- можност за оддалечување на мерните инструменти и уреди со цел нивна заштита од силни електрични и магнетни полиња, при што се зголемува точноста на мерењето.

Мерните трансформатори се состојат од јадро изработено од магнетен материјал и од примарна и секундарна намотка кои се меѓусебно одвоени и изолирани, зависно од големината на напонот во мерното коло. Примарните намотки се вклучуваат во мерното коло, додека на секундарните намотки се приклучуваат мерните инструменти. Мерните трансформатори се посебен вид трансформатори, како по својата конструкција така и по својата намена. Во зависност од намената, изведбата и начинот на приклучување во мерното коло, мерните трансформатори можат да бидат:

- **напонски мерни трансформатори и**
- **струјни мерни трансформатори.**

## **4.1. НАПОНСКИ МЕРНИ ТРАНСФОРМАТОРИ**



Сл. 4.2: Напонски мерен трансформатор

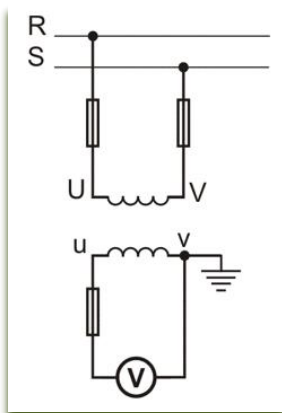
Напонските трансформатори (сл. 4.2) служат да ги трансформираат високите вредности на напони кои ќе овозможат употреба на стандардни мерни инструменти. Со тоа се постигнува и побезбедна работа на луѓето кои ракуваат со инструментите. Напонските трансформатори се дизајнирани така што прецизно го намалуваат напонот на стандардизирана вредност од 100 V и претставуваат незначајно оптоварување на напонот кој се мери. Се применуваат при мерење електрични напони од 500 V до 500 kV.

### **4.1.1 ПОВРЗУВАЊЕ НАПОНСКИ МЕРНИ ТРАНСФОРМАТОРИ**

Намотките на напонските мерни трансформатори најчесто се изработени од бакарни спроводници. Бакарните спроводници се со кружен пресек и се изолирани со лак.



Примарната намотка на напонскиот мерен трансформатор, преку осигурувачи, се приклучува паралелно во мерното коло (сл. 4.3), додека мерните инструменти се приклучуваат паралелно на секундарната намотка, при што секундарниот напон треба да биде во фаза со примарниот.



Сл. 4.3: Шема за поврзување напонски мерен трансформатор

Секундарната намотка се приклучува преку осигурувач со мерниот инструмент, со исклучок на водовите кои се заземјени. Низ секундарната намотка на напонскиот мерен трансформатор ќе течат многу мали струи од причина што приклучените мерни инструменти – волтметар, напонската намотка на ватметарот, броила и уреди за напонска заштита имаат голема влезна отпорност. Од овие причини напонскиот мерен трансформатор се конструира и се димензионира за работа во **режим на празен од** при зададен примарен напон. За разлика од струјните, секундарната намотка на напонските мерни трансформатори никогаш не смее да биде во краток спој.

Според видот на употребената изолација меѓу намотките, разликуваме неколку вида трансформатори:

- со сува изолација (за пониски напони);
- со изолација со масло (за повисоки напони);
- со гас SF<sub>6</sub> (сулфур хексафлуорид).

Според изведбата, разликуваме два основни типа на напонски мерни трансформатори:

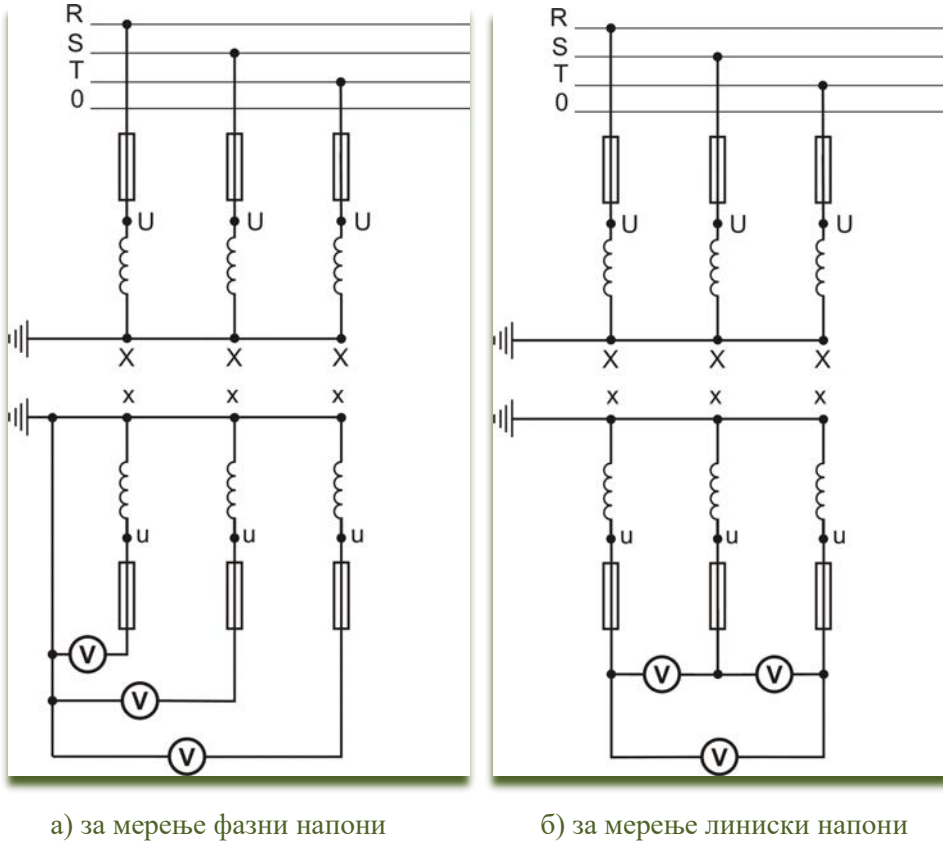
- двополни изолирани напонски мерни трансформатори и
- еднополни изолирани напонски мерни трансформатори.



Разликата помеѓу овие два напонски мерни трансформатори е во тоа што двошно изолираниот трансформатор има два високонапонски приклучоци кои се изолирани од куќиштето на трансформаторот, а едношно изолираниот напонски трансформатор (сл. 4.4) има еден високонапонски приклучок, додека другиот крај се заземјува.

Сл. 4.4: Едношно изолиран напонски трансформатор

Во трифазните системи напонскиот мерен трансформатор се приклучува меѓу фаза и заземјување. Тој напон претставува номинален напон на трансформаторот. Тој се изразува како  $U/\sqrt{3}$ , каде со  $U$  е означен меѓуфазниот напон. На сл. 4.5 е прикажана шема на поврзување на три еднополно изолирани напонски мерни трансформатори во звезда спој.



Сл. 4.5: Шема на поврзување на три еднополно изолирани напонски мерни трансформатори

Свездиштето (X) x се заземјува. Со помош на ваков спој можат да се измерат сите три линиски (меѓуфазни) напони  $U_{ST}$ ,  $U_{RS}$ ,  $U_{RT}$  (сл. 4.5 б)), како и поединечните фазни напони  $U_R$ ,  $U_S$ ,  $U_T$  (сл. 4.5 а)). Меѓу секундарните приклучоци u и свездиштето x се приклучува волтметар, реле за дојава за спој со земја, трисистемски ватметар или трисистемско броило.



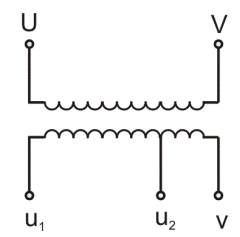
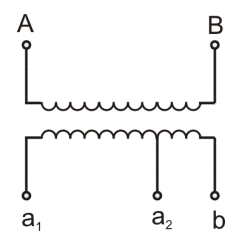
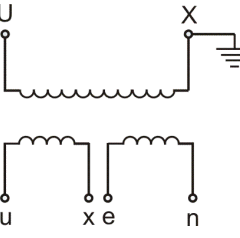
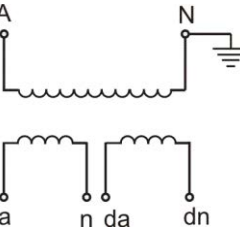
### 4.1.2 ОЗНАЧУВАЊЕ НА НАПОНСКИТЕ МЕРНИ ТРАНСФОРМАТОРИ

Приклучоците на примарната страна на двополно изолираниот трансформатор (според VDE-Verband Deutscher Elektrotechniker ознаките) се **означуваат** со големите букви **U** и **V**, додека на секундарната со малите букви **u** и **v**, соодветно. Кај погонските трансформатори вообичаено приклучокот **v** се заземјува. Кај еднополно изолираниот напонски трансформатор приклучоците на примарната страна се означуваат со големите букви **U** и **X**, додека на секундарната страна со малите букви **u** и **x**, соодветно, при што приклучоците **X** и **x** се заземјуваат. Покрај приклучоците **u** и **x**, еднополно изолираниот напонски трансформатор може да има и помошна намотка за сигнализација на спој со земја со ознаки **e** и **n**.

Во табела 4.1. се прикажани различни начини на означување на напонските мерни трансформатори.

Табела 4.1: Означување на напонски мерни трансформатори

Напонски мерни трансформатори	Означување според VDE (германски) ознаки	Означување според IEC ознаки (Меѓународен комитет за електротехника)	Напонски преносен однос
Незаземјен-двополен 1 секундарна намотка			10 000/100 V
Незаземјен-двополен дводелна примарна намотка 1 секундарна намотка			2x35000/100 V

<p>Незаземјен- двополен 1 секундарна намотка со изводи</p>			<p>5 000 – 10 000/100 V</p>
<p>Заземјен- еднополен 1 мерна намотка 1 помошна намотка</p>			<p><math>10\,000/\sqrt{3}</math> <math>100/\sqrt{3}</math> <math>100/3</math> V</p>

Примарните и секундарните намотки се приклучуваат преку високонапонски осигурувачи. Покрај еднополно и двополно изолирани мерни трансформатори, постојат и *трофазни напонски мерни трансформатори* кои на примарната страна се означуваат со големите букви **U, V, W** и **X**, а на секундарната страна со малите букви **u, v, w** и **x**, соодветно. Поради малата точност овие трансформатори во практиката многу поретко се употребуваат.

### 4.1.3 ТЕХНИЧКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА НАПОНСКИ МЕРНИ ТРАНСФОРМАТОРИ

Техничките карактеристики на напонскиот мерен трансформатор ги дава производителот. Нивното познавање е неопходно за правилен избор според дефинираните барања кои мора да ги задоволи напонскиот мерен трансформатор. Во технички карактеристики спаѓаат:

- номинален примарен напон;
- номинален секундарен напон;
- номинален преносен однос;
- примарен напон;
- секундарен напон;
- класа на точност;
- номинално оптоварување.



**Номинален примарен напон  $U_{1n}$**  е примарниот напон за кој е конструиран напонскиот мерен трансформатор. Вообичаено, номинални примарни напони се унифицирани вредности од: 1; 3; 10; 20; 35; 60; 110; 220 и 30 kV.

**Номинален секундарен напон  $U_{2n}$**  е трансформираниот напон на секундарната намотка, кога на примарната намотка е приклучен номинален примарен напон. Вообичаено напонските мерни трансформатори се стандардизирани за номинален секундарен напон со вредности од 100 V.

**Номиналниот преносен однос  $k_n$**  на напонскиот мерен трансформатор е точно познат и има константна вредност. Се дефинира како однос на номиналниот примарен напон  $U_{1n}$  и номиналниот секундарен напон  $U_{2n}$ :

$$k_n = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} \dots\dots\dots(4.1)$$

Номиналниот примарен напон на мерните трансформатори е еднаков со номиналниот напон на електричните мрежи. Кај двополно изолираниот напонски мерен трансформатор, номиналниот примарен напон е еднаков со примарниот меѓуфазен (линиски) напон на мрежата (на пр., 35kV), додека кај еднополно изолиран напонски мерен трансформатор е еднаков со фазниот напон на мрежата (на пр.,  $35/\sqrt{3}$  kV). Во првиот случај стандардните номинални секундарни напони изнесуваат 100 V, а во вториот случај кај еднополно изолираните напонски мерни трансформатори  $100/\sqrt{3}$  V. Преносниот однос на мерниот трансформатор се изразува како  $10\,000/\sqrt{3}/100/\sqrt{3}$  V, за еднофазен систем, додека, пак, за систем со две фази со  $10\,000$  V/100 V.

**Примарен напон  $U_1$**  е напонот кој е предмет на мерење, односно напон кој е приклучен на примарната намотка. Дозволен промени на вредноста на примарниот напон, за иста класа на точност, се од 0,8 до  $1,2U_{1n}$ .

**Секундарен напон  $U_2$**  е напонот кој се индуцира на секундарната намотка на трансформаторот, кој, всушност, претставува напон кој се мери. Од номиналниот преносен однос  $k_n$ , односот на примарниот напон  $U_1$  и секундарниот напон  $U_2$ :

$$k_n = \frac{U_1}{U_2} \dots\dots\dots(4.2)$$

се пресметува вредноста на мерениот примарен напон  $U_1$ :

$$U_1 = k_n \cdot U_2 \dots\dots\dots(4.3)$$

Напонските мерни трансформатори се изработуваат во пет **класи на точност**, во зависност од големината на релативната грешка. Во табела 4.2. се наведени големини на дозволени напонски и фазни грешки за соодветните класи на точност.

Табела 4.2: Дозволени напонски и фазни грешки за соодветните класи на точност

Класа на точност	Напонско подрачје	Напонска грешка	Фазна грешка	
			минути	центи радијани
0,1	0,8 ...1,2 $U_n$	$\pm 0,1\%$	$\pm 5$	$\pm 0,15$
0,2	0,8 ...1,2 $U_n$	$\pm 0,2\%$	$\pm 10$	$\pm 0,3$
0,5	0,8 ...1,2 $U_n$	$\pm 0,5\%$	$\pm 20$	$\pm 0,6$
1,0	0,8 ...1,2 $U_n$	$\pm 1,0\%$	$\pm 40$	$\pm 1,2$
3,0	0,8 ...1,2 $U_n$	$\pm 3,0\%$	не е определена	не е определена

За прецизни лабораториски мерења се користат напонски мерни трансформатори со класа 0,1 и 0,2, за погонски контролни мерења класа 0,5, класата 1 за погонски мерења кога не е потребна голема точност и за релеи класа 3.

**Напонската грешка  $\Delta U$  [%]** се дефинира како:

$$\Delta U [\%] = \frac{k_n \cdot U_2 - U_1}{U_1} \cdot 100 \dots\dots\dots(4.4)$$

**Фазната грешка  $\delta_u$**  е последица на фазната разлика  $\delta$  меѓу секундарниот и примарниот напон на мерниот трансформатор и се изразува во минути или центи радијани. Фазната грешка е позитивна во случај кога



векторот на секундарниот напон претходи во однос на векторот на примарниот напон.

**Номинално оптоварување** е оптоварување на секундарната намотка што не смее да се пречекори. Најчесто напонските мерни трансформатори се конструираат за номинални оптоварувања од 5; 15; 30 и 60 VA.

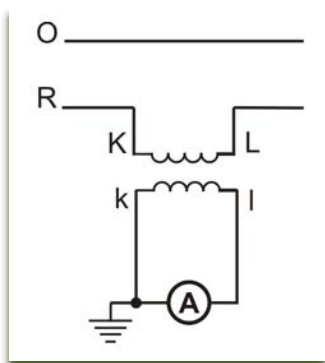
## 4.2 СТРУЈНИ МЕРНИ ТРАНСФОРМАТОРИ



Сл. 4.6: Струен мерен трансформатор

Струјните трансформатори се употребуваат за трансформација на големи вредности на наизменична струја при ниски напони, на вредности кои овозможуваат употреба на релеи и стандардни мерни инструменти. Се употребуваат и во кола со висок напон за мерење струи без оглед на нивната јачина. На слика 4.6 е прикажан реален изглед на струен мерен трансформатор.

### 4.2.1 ПОВРЗУВАЊЕ НА СТРУЈНИ МЕРНИ ТРАНСФОРМАТОРИ



Сл. 4.7 Шема за поврзување струен мерен трансформатор

Составени се од примарна и секундарна намотка, магнетно коло и изолација. Примарната намотка се состои од една или неколку навивки со релативно голем напречен пресек, додека, пак, секундарната намотка се состои од поголем број навивки со релативно мал напречен пресек. Примарната намотка на струјниот трансформатор се приклучува редно во мерното коло (слика 4.7), додека секундарната струја треба да биде во фаза со примарната. Мерните инструменти, како што се амперметри, сервиската намотка на ватметрите, броилата и

уредите за струјна заштита сервиски се приклучуваат на секундарната намотка. Поради малото оптоварување на секундарната намотка работниот режим на струјниот трансформатор е практично **режим на куса врска**.

Струјните трансформатори се изработуваат со отворено (пресечено) или со затворено јадро. Во пресечениот дел на јадрото се вградува индуктивна сонда. Пресеченото јадро може да се отвора и на тој начин се поедноставува нивната монтажа во постоечка инсталација. Имено, тие се ставаат околу постоечките водови без нивно прекинување. Ваква конструкција на струјниот мерен трансформатор е позната како **струјна клешта** (сл. 4.8). Со отпуштање на рачките на струјната клешта се затвора магнетното јадро околу опфатениот спроводник кој ја претставува примарната намотка. На краевите на секундарната намотка, која е на фиксниот дел од магнетното јадро, приклучен е соодветен амперметар со скала на која директно се отчитува мерената вредност.



Сл. 4.8: Различни видови струјни клешти

Во секундарните кола на струјните трансформатори не смее да се постави осигурувач. **Секундарната намотка мора да биде заземјена!** За да не дојде до претерано загревање на струјниот трансформатор, секундарното коло не смее да биде отворено или да се отвора во текот на работата. Во спротивно, трансформаторот преминува во режим на празен од. Тогаш секундарниот напон достигнува вредности до неколку илјади волти, што претставува голема опасност за операторот кој ракува со трансформаторот. Имено, од наведеното се гледа колку е важно барањето за **краток спој на секундарната намотка на струјниот трансформатор директно или затворена преку мерни инструменти**.



Номиналната вредност на секундарната струја има унифицирана вредност од 5 А, за струјни мерни трансформатори, и 1 А, за струјни трансформатори за релејна заштита. Номиналната вредност на примарната струја зависи од примената на струјниот трансформатор и може да има вредност од 10 А до неколку илјади ампери. Разликуваме струјни трансформатори за ниски напони и за повеќенапонски нивоа. Струјните мерни трансформатори за ниски напони се изведени со изолација од епоксидна смола со која се залиени магнетното коло и секундарната намотка. Овие трансформатори се наменети за внатрешна монтажа. Во мрежите со поголеми напони од 38 kV струјните мерни трансформатори се изведени со изолацијата од трансформаторско масло, меѓу двете намотки, како и меѓу намотките и магнетното коло. Овие трансформатори се наменети за монтажа на отворено.

#### 4.2.2 ОЗНАЧУВАЊЕ СТРУЈНИ МЕРНИ ТРАНСФОРМАТОРИ

*Приклучоците на примарната страна на струјниот мерен трансформатор (според VDE ознаките) се **означуваат** со големите букви **K** и **L**, а на секундарната со малите букви **k** и **l**, соодветно.* Вообичаено, приклучокот k се заземјува.

Секундарната намотка на струјниот мерен трансформатор може да биде составена од поголем број навивки и одделени магнетни јадра со исти или различни карактеристики. На тој начин струјните трансформатори можат да бидат со две мерни јадра (секундарни намотки) со различна класа на точност или со мерно и со заштитно јадро. На првата намотка се приклучуваат мерните инструменти, што е причина да се изработи со повисока класа на точност. Додека на заштитната намотка се приклучуваат струјните кола на уредите за заштита и се изработува со пониска класа на точност. Ваква изведба на струен мерен трансформатор се користи во мрежи кај кои покрај мерење струја е потребно да се изврши и напојување на уредите за заштита.

Во табела 4.3 се прикажани различни начини на означување на различни изведби на струјните мерни трансформатори.

Табела 4.3: Означување на струјни мерни трансформатори

Струјни мерни трансформатори	Означување според VDE (германски) ознаки	Означување според IEC ознаки (Меѓународен комитет за електротехника)	Преносен однос
1 примарна навивка 1 јадро 1 секундарна намотка			100/1 A
дводелна примарна намотка 1 јадро 1 секундарна намотка			2x100/1 A
1 примарна намотка 1 јадро 1 секундарна намотка со изводи			1000/1 A 500/1 A 200/1 A
1 примарна намотка 2 јадра 2 секундарни намотки			100/1/1 A



### 4.2.3 ТЕХНИЧКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА СТРУЈНИ МЕРНИ ТРАНСФОРМАТОРИ

Техничките карактеристики на струјниот мерен трансформатор ги дава производителот. Нивното познавање е неопходно за правилен избор според дефинираните барања кои мора да ги задоволи струјниот мерен трансформатор. Во технички карактеристики спаѓаат:

- номинална примарна струја;
- номинална секундарна струја;
- номинален преносен однос;
- примарна струја;
- секундарна струја;
- класа на точноста;
- номинално оптоварување;
- термичка струја;
- динамичка струја;
- фактор на сигурност.

**Номинална примарна струја  $I_{1n}$**  е јачина на струјата за која струјниот мерен трансформатор е димензиониран и ги има следните унифицирани вредности: 5; 15; 20; 30; 40; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 750; 1000; 1500; 2000; 3000; 4000; 5000 и 7500 А. Номиналната примарна струја може да има и вредност помала од 1 А: 0,25 А; 0,5 А; 0,75 А; 1 А и 2,5 А.

**Номинална секундарна струја  $I_{2n}$**  е секундарна струја и има унифицирана вредност од 5 А или 1 А.

**Номиналниот преносен однос  $k_n$**  на струјниот мерен трансформатор се дефинира како однос на номиналната примарна струја  $I_{1n}$  и номиналната секундарна струја  $I_{2n}$ :

$$k_n = \frac{I_{1n}}{I_{2n}} \dots\dots\dots(4.5)$$

**Примарна струја  $I_1$**  е струјата која е предмет на мерење, односно струја која тече низ примарната намотка. Дозволен промени на вредноста на примарната струја, за иста класа на точност, се до  $1,2 I_{1n}$ .

**Секундарна струја  $I_2$**  е струја која тече низ секундарната намотка на трансформаторот, односно струја која се мери со мерен инструмент. Од номиналниот преносен однос  $k_n$ , односно односот на примарната струја  $I_1$  и секундарната струја  $I_2$ :

$$k_n = \frac{I_1}{I_2} \dots\dots\dots(4.6)$$

се пресметува вредноста на мерената примарна струја  $I_1$ :

$$I_1 = k_n \cdot I_2 \dots\dots\dots(4.7)$$

Струјните мерни трансформатори се изработуваат во шест **класи на точност**: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 3 и 5. Во табела 4.4 се наведени големини на дозволени струјни и фазни грешки за соодветните класи на точност.

Табела 4.4: Дозволени струјни и фазни грешки за соодветните класи на точност

Класа на точно ст	± струјна грешка $\Delta I\%$					± фазна грешка $\delta_i$							
	0,1 $I_n$	0,2 $I_n$	0,5 $I_n$	1,0 $I_n$	1,2 $I_n$	во минути				во центирадијани			
						0,1 $I_n$	0,2 $I_n$	1,0 $I_n$	1,2 $I_n$	0,1 $I_n$	0,2 $I_n$	1,0 $I_n$	1,2 $I_n$
0,1	0,25	0,10	/	0,1	0,1	10	8	5	5	0,3	0,24	0,15	0,15
0,2	0,50	0,35	/	0,2	0,2	20	15	10	10	0,6	0,45	0,30	0,30
0,5	1,00	0,75	/	0,5	0,5	60	45	30	30	1,8	1,35	0,90	0,90
1	2,00	1,50	/	1,0	1,0	120	90	60	60	3,6	2,70	1,80	1,80
3	/	/	3	/	3	/	/	/	/	/	/	/	/
5	/	/	5	/	5	/	/	/	/	/	/	/	/

За прецизни лабораториски мерење се користат струјни мерни трансформатори со класи 0,1 и 0,2; за погонски мерења на моќност со класа 0,5; додека со класите 1, 3 и 5 се користат за управување релеи.

**Струјната грешка  $\Delta I$  [%]** се дефинира како:

$$\Delta I [\%] = \frac{k_n \cdot I_2 - I_1}{I_1} \cdot 100 \dots\dots\dots(4.8)$$



**Фазната грешка  $\delta_i$**  е последица на фазната разлика меѓу секундарната и примарната струја на мерниот трансформатор и се изразува во минути или центирадијани. Фазната грешка нема влијание на точноста на мерењето, освен во случај кога на секундарот е приклучена струјна намотка на ватметар или броило.

**Номинално оптоварување** се изразува преку привидна моќност приклучена на секундарните намотки на струјните трансформатори и ги има следните унифицирани вредности: 5; 10; 15; 30; 45; 60 и 90 VA.

**Термичка струја  $I_{term}$  [kA]** претставува ефективната вредност на струјата низ примарната намотка при краток спој на секундарната намотка, а притоа температурата на загревање на трансформаторот е еквивалентна на вредноста на еднонасочната компонента на струјата и има вредност околу  $100 I_{1n}$ .

**Динамичка струја  $I_{din}$  [kA]** претставува максимална вредност на примарната струја при кусо врзана секундарна намотка, а притоа да не дојде до механичко оштетување на трансформаторот.

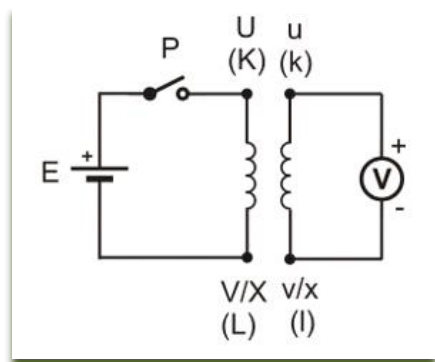
**Факторот на сигурност FS** покажува колку е дозволеното зголемување на примарната струја над нејзината номинална вредност, а притоа грешката да не биде поголема од 10 %.

## 4.3 КОНТРОЛА НА ОЗНАЧУВАЊЕ ПРИКЛУЧНИ КРАЕВИ НА МЕРНИ ТРАНСФОРМАТОРИ

Означувањето на приклучните краеви кај нас е според VDE ознаките. Доколку ознаките не се дадени, треба да се изврши контрола на означувањето. Особено треба да се внимава на приклучувањето на мерните трансформатори при мерење моќност, фактор на моќност и енергија.

Со колото прикажано на сл. 4.5, едноставно и брзо може да се изврши контрола на означувањето на приклучните краеви на мерните трансформатори. На примарната страна на мерниот трансформатор преку прекинувач е приклучен еднонасочен извор на напон, а на секундарната страна инструмент за мерење еднонасочен напон – волтметар.

Доколку во колото на слика 4.9 приклучокот на примарната страна



Сл. 4.9: Коло за контрола на означување на приклучните краеве на мерните трансформатори

на трансформаторот  $U$  (K) е приклучен на позитивниот пол на еднонасочниот извор  $E$ , и по затворање на прекинувачот  $P$ , на волтметарот се добие позитивен отклон, тогаш на секундарната страна плусот на инструментот е приклучен на  $u$  (k) приклучокот. Истото важи и за другиот приклучок на мерниот трансформатор. Во тој случај, ако во примарната намотка тече струја од  $U$  (K) кон  $V/X$  (L) приклучокот, на секундарната страна струјата ќе тече во насока од  $u$  (k) преку инструментот кон  $v/x$  (l) приклучокот.



- За мерење поголеми вредности на електричните големини, мерното подрачје на инструментите се проширува со мерни трансформатори.
- Мерните трансформатори можат да бидат напонски мерни трансформатори и струјни мерни трансформатори.
- Напонските трансформатори служат да ги трансформираат високите вредности на напони кои ќе овозможат употреба на стандардни мерни инструменти.
- Секундарната намотка на напонските мерни трансформатори никогаш не смее да биде во краток спој.
- Номиналниот преносен однос на струјниот мерен трансформатор се дефинирана како однос на номиналната примарна и номиналната секундарна струја.
- Секундарната намотка на струјните трансформатори мора да биде заземјена.

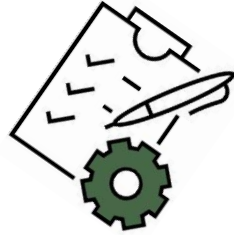


## Прашања за утврдување на знаењата од Модуларна единица 4



1. За што служат мерните трансформатори?
2. Објасни како струјните и напонските мерни трансформатори се поврзани со мерното коло.
3. Како се проширува мерното подрачје на инструментите во услови на висок напон и големи јачини на струи?
4. Објасни ја конструкцијата на мерните трансформатори.
5. На кои намотки од мерните трансформатори се приклучуваат мерните инструменти?
6. Каква изолација се користи при градба на мерните трансформатори?
7. Како се изведуваат напонските мерни трансформатори?
8. Нацртај шеми на поврзување на три еднополно изолирани напонски мерни трансформатори.
9. Како се означуваат приклучоците на примарната страна на двополно изолираниот трансформатор?
10. Како се означуваат приклучоците на секундарната страна на еднополно изолираниот трансформатор?
11. Како се приклучува примарната намотка на струјниот трансформатор во мерното коло?
12. Со какви јадра се изработуваат струјните трансформатори?
13. Објасни го принципот на мерење со струјна клешта.
14. Зошто мора секундарната намотка на струјниот мерен трансформатор да биде заземјена?
15. Како се означуваат приклучоците на струјните мерни трансформатори?
16. Дефинирај ги поимите номинална примарна и секундарна струја.
17. Што претставува номинален преносен однос?
18. Со кои класи на точност се изработуваат струјните мерни трансформатори?
19. Како се дефинира струјна грешка?
20. Како се врши контрола на означувањето на приклучните краеве на мерните трансформатори?

## ТЕМАТСКО УТВРДУВАЊЕ



### I Прашања со заокружување (Заокружи ги точните одговори)

1. Која намотка на струјните трансформатори мора да биде заземјена?  
А) примарната  
Б) секундарната
2. Која намотка на напонските мерни трансформатори никогаш не смее да биде во краток спој?  
А) примарната  
Б) секундарната
3. Приклучоците на примарната и секундарната страна на двополно изолираниот трансформатор, според VDE ознаките, се означуваат со буквите (соодветно):  
А) K, L (примарни) и k, l (секундарни)  
Б) U, V (примарни) и u, v (секундарни)  
В) U, X (примарни) и u, x (секундарни)

### II Прашања со дополнување

1. Низ секундарната намотка на напонскиот мерен трансформатор ќе течат \_\_\_\_\_ струи од причина што приклучените мерни инструменти имаат голема влезна отпорност.
2. Со однос на номиналната примарна и номиналната секундарна струја се дефинира \_\_\_\_\_ на струјниот мерен трансформатор.
3. Струјните трансформатори изработени со пресечено јадро, во кое се вградува индуктивна сонда, се нарекуваат \_\_\_\_\_.
4. Струјните мерни трансформатори се изработуваат во \_\_\_\_\_ класи на точност.

## **5. МЕРНИ МЕТОДИ ЗА МЕРЕЊЕ ЕЛЕКТРИЧНИ И НЕЕЛЕКТРИЧНИ ГОЛЕМИНИ**

Со изучување на содржините од оваа модуларна единица ученикот ќе научи да:

- извршува мерење со примена на U-I метода;
- користи мерни мостови и компензатори за мерење електрични големини;
- објаснува функција на потенциометарски, тензометарски, индуктивни, капацитивни, пиезоелектрични, термоелектрични, термоотпорнички и дигитални мерни преобразувачи.





## 5. МЕРНИ МЕТОДИ

Постојат повеќе мерни методи за мерење на основните електрични големини. Мерењата се делат на непосредни (директни) и посредни (индиректни).

Под **непосредни мерења** се подразбира одредување на бројната вредност на мерената големина изразена со нејзината мерна единица, односно со користење соодветен електричен инструмент.

**Индиректни мерења** се користат за одредување на бројните вредности на големините кои се вклучени во одредена физичка појава, а се во релација со големината која ја мериме, според одреден физички закон. Потоа, со користење на одредена релација по пат на пресметка се добива бројната вредност на мерената големина. Тоа значи дека индиректните мерења се спроведуваат со користење посредни мерни методи. Основни посредни методи се: нулта метода, диференцијална метода, метода на замена и метода на директно споредување.

- При **нултата метода**, мерената големина се споредува со точно позната вредност на големина со еднаков карактер. Во моментот на рамнотежа стрелката на мерниот инструмент покажува нула, од каде потекнува името на методата. Точноста на мерењето зависи од осетливоста на употребениот инструмент. Типичен пример за користење нулта метода е мерење отпорност, индуктивност и капацитивност со помош на *мостови* или мерење струја и напон со *компензаторна метода*.
- Кај **диференцијалната метода**, мерењето се состои во споредување на вредноста на мерената големина со референтна вредност на истата големина, а добиената разлика се регистрира на соодветен начин.
- **Методата на замена** се состои во замена на мерената големина со точно позната вредност – еталон при ист отклон на индикаторскиот инструмент. Оваа метода се користи при прецизни мерења на отпорност, индуктивност и капацитивност.
- **Методата на директно споредување** се користи за испитување на точност на мерен инструмент по пат на споредба со еталонски инструмент. На пример, испитување на точност на броило за електрична енергија со броило – еталон.

Во пракса, како наједноставна најмногу се користи непосредната метода, но за попрецизни лабораториски мерења се користат споредбените методи.

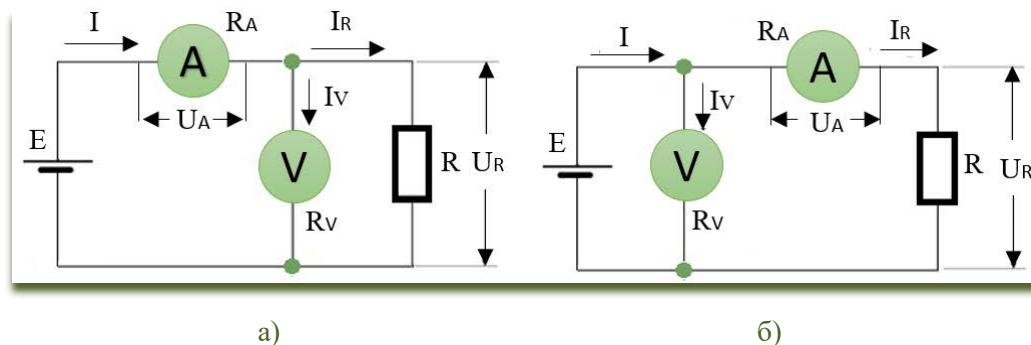
## 5.1 МЕРЕЊЕ ОТПОРНОСТ СО МЕРЕЊЕ НАПОН И СТРУЈА (U-I МЕТОДА)

Најчесто користени методи за мерење на вредностите на пасивните електрични големини (отпорност, капацитивност, индуктивност) се U-I методите. Овие методи се засноваат на примена на волтметар и амперметар за мерење напон и струја, соодветно. Големината на непознатата вредност се мери индиректно и се проценува врз основа на соодветниот однос на измерените електрични големини.

Со мерење на јачината на еднонасочната струја  $I$  која протекува низ отпорник со непозната отпорност  $R$ , со мерење на падот на напон на краевите на тој отпорник  $U$ , и врз основа на Омовиот закон, може да се пресмета вредноста на отпорноста со релацијата:

$$R = \frac{U}{I} \dots\dots\dots(5.1)$$

Според начинот на поврзување на амперметарот и волтметарот се користат две шеми, напонска (слика 5.1 а)) и струјна (слика 5.1 б)). Во **напонската шема** амперметарот се поврзува во серија со изворот за напојување  $U$ , додека во струјната волтметарот се поврзува паралелно со изворот за напојување. Напонската шема се користи за мерење „мали отпорности“, отпорности кои се многу помали од внатрешната отпорност на волтметарот. **Струјната шема** се користи за мерење „големи отпорности“, отпорности кои се многу поголеми од внатрешната отпорност на амперметарот.



Сл. 5.1: Мерење отпорност со амперметар и волтметар



Во шемата на поврзување од слика 5.1 а) со амперметарот се мери струјата  $I$ , додека со волтметарот се мери напонот на краевите на потрошувачот  $U_R$ . Големината на непознатата отпорност  $R$  се пресметува според релацијата:

$$R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{U_R}{I - I_V} = \frac{U_R}{I - \frac{U_R}{R_V}}$$

$R_V$  – внатрешна отпорност на волтметарот  
 $I_V$  – струја низ волтметарот  
 $I_R$  – струја низ потрошувачот  $R$   
 $U_R$  – напон на краевите на потрошувачот....(5.2)

Бидејќи внатрешната отпорност на волтметарот  $R_V$  е многу голема, следува дека  $I_V \ll I$ , може приближно да се земе дека непознатата отпорност  $R$  е еднаква на односот на мерениот напон  $U_R$  и мерената струја  $I$ .

Во шемата на поврзување од слика 5.1 б) со амперметарот се мери струјата низ потрошувачот  $I_R$ , а со волтметарот напонот на приклучениот еднонасочен напон  $U$ . Непознатата отпорност  $R$  се пресметува според релацијата:

$$R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{U - U_A}{I_R} = \frac{U - I_R \cdot R_A}{I_R}$$

$R_A$  – внатрешна отпорност на амперметарот  
 $U_A$  – напон на краевите на амперметарот  
 .....(5.3)

Бидејќи внатрешната отпорност на амперметарот  $R_A$  е многу мала, повторно може приближно да се земе дека непознатата отпорност  $R$  е еднаква на односот на мерениот напон  $U$  и мерената струја  $I_R$ .

Може да се заклучи дека изборот на амперметар, т.е. внатрешната отпорност на амперметарот не влијае на точноста на мерењето при користење напонска шема и дека изборот на внатрешниот отпор на волтметарот не влијае на точноста на мерењето кога се користи струјната шема.

Во случај да не се исполнети условите за примена на напонско и струјно поврзување, можно е да се направи корекција, да не дојде до систематска грешка, со примена на изразите за непознатата отпорност (5.2) и (5.3) во кои се вклучени внатрешните отпорности на инструментите.

Мерење отпорност на непознат отпорник со **U-I метода** е **индиректна метода** која е едноставна за изведба, но во пракса се користат попрецизни мерења. Грешките кои се јавуваат се последица на неидеалноста на амперметрите и волтметрите.

## 5.2. МЕРЕЊЕ МОЌНОСТ СО МЕРЕЊЕ НАПОН И СТРУЈА (U-I МЕТОДА)



Електричната моќност се мери директно со специјални инструменти наречени ватметри. *При еднонасочни и еднофазни наизменични струи со чисто омско оптоварување, моќноста може да се мери со амперметар и волтметар.* Моќноста  $P$  која се троши на потрошувачот може да се изрази како производ од напонот на краевите од потрошувачот  $U$ , и струјата  $I$  која тече низ него, така што со мерење на електричниот напон и електричната струја се добива електричната моќност на потрошувачот:

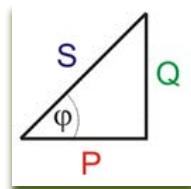
$$P = U \cdot I \quad [W] \quad \dots\dots\dots(5.4)$$

Оваа метода на мерење на електричната моќност, со мерење на електричниот напон и електричната струја, е **индиректна метода** или **U-I метода**.

Во електрични кола со еднофазна наизменична струја **активната моќност**:

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad [W] \quad \dots\dots\dots(5.5)$$

се мери директно, со ватметар. Меѓутоа, при чисто омско оптоварување ( $\cos\varphi = 1$ ), кога активната моќност е еднаква на привидната, се користи индиректната метода. При реактивно оптоварување, за мерење на активната моќност се користи директна метода со ватметар и индиректни методи со три амперметри или три волтметри. За мерење активна моќност при повеќефазни наизменични струи се користат ватметри.



**Реактивната моќност**:

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi \quad [VAr] \quad \dots\dots\dots(5.6)$$



се мери директно со индукционен или со електродинамички ватметар во специјална спрега.

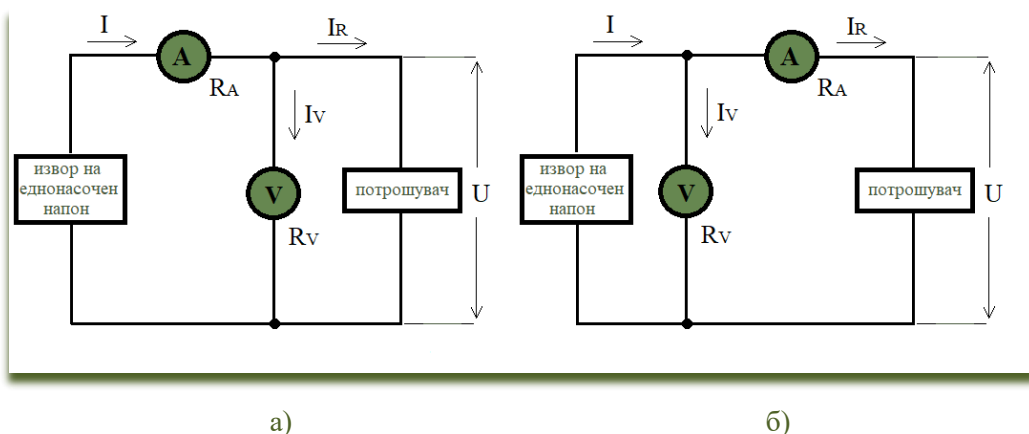
**Привидната моќност** се определува според релацијата 5.7:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad [VA]$$

$$S = U \cdot I \quad [VA] \dots\dots\dots(5.7)$$

### 5.2.1. МЕРЕЊЕ ЕЛЕКТРИЧНА МОЌНОСТ ВО КОЛА СО ЕДНОНАСОЧНА СТРУЈА

При еднонасочна струја, електричната моќност се мери *индиректно*, со помош на амперметар и волтметар, **U-I метода**. При ваквото мерење можни се две врски: со врзување на волтметарот паралелно на потрошувачот, а амперметарот сериски со изворот на еднонасочен напон (слика 5.2 а)), и обратно (слика 5.2 б)), исто како на слика 5.1.



Сл. 5.2: Електрични шеми за мерење моќност со волтметар и амперметар кај потрошувачи приклучени на еднонасочен напон

За моќноста на потрошувачот од електричната шема на слика 5.2 а), се добива:

$$P_R = U \cdot I_R = U \cdot (I - I_V) = U \cdot \left( I - \frac{U}{R_V} \right) = U \cdot I - \frac{U^2}{R_V} \dots\dots\dots(5.8)$$

За да се намали потрошувачката на волтметарот, треба неговата внатрешна отпорност  $R_V$  да биде што е можно поголема, а со тоа електричната струја  $I_V$  низ него што помала. Во тој случај, за електричната моќност на потрошувачот се добива:

$$P_R = U \cdot I \quad \dots\dots\dots(5.9)$$

каде  $U$  е електричниот напон измерен со волтметарот, а  $I$  електричната струја измерена со амперметарот.

Електричната моќност на изворот  $P_E$  се одредува така што на моќноста на потрошувачот се додава потрошувачката на амперметарот:

$$P_E = U \cdot I - \frac{U^2}{R_V} + I^2 \cdot R_A \quad \dots\dots\dots(5.10)$$

За електричната шема дадена на сл. 5.2 б), моќноста на потрошувачот се одредува според релацијата:

$$P_R = U \cdot I_R = (U_V - U_A) \cdot I_R = (U_V - R_A \cdot I_R) \cdot I_R = U_V \cdot I_R - R_A \cdot I_R^2 \quad \dots(5.11)$$

За да се намали потрошувачката на амперметарот, треба неговата внатрешна отпорност  $R_A$  да биде што помала. Во тој случај, за моќноста на потрошувачот се добива:

$$P_R = U_V \cdot I_R \quad \dots\dots\dots(5.12)$$

каде  $U_V$  е електричниот напон измерен со волтметарот, а  $I_R$  е електричната струја измерена со амперметарот.

Влијанието на потрошувачката на амперметарот и волтметарот треба да се земе предвид само при мерење мали моќности. При мерење големи моќности, двата споја даваат идентични резултати.

Корекции при мерење се прават при мерење многу мали моќности, бидејќи потрошувачката на инструментот може да има значително влијание на резултатот од мерењето. Вообичаено, инструментите се поврзуваат според слика 5.2 а), каде е потребна корекцијата  $U^2/R_V$ . При константен напон на изворот, членот за корекција е ист за сите мерења. Генерално, кога отпорноста на оптоварувањето е значително поголема од отпорноста на



амперметарот, ја избираме според слика 5.2 б). Во случај кога отпорноста на оптоварувањето е занемарлива во однос на отпорноста на волтметарот, се користи врска според слика 5.2 а). Кога не е можно да се избегне корекција, подобро е да се избере врска во која е неопходна корекција поради потрошувачката на волтметарот, бидејќи отпорноста на волтметарот е редовно позната и не зависи од температурата. Точноста на мерењето на моќноста зависи од точноста на употребените амперметар и волтметар.

Доколку напонот се менува за време на мерењето, потребно е да се измери моќноста со ватметар.

### **5.3 МЕРНИ МОСТОВИ И КОМПЕНЗАТОРИ**

**Мерните мостови и компензаторите** спаѓаат во индиректни мерни постапки. Мерењата со мерните мостови и компензаторите се остваруваат по пат на споредување на мерената големина со друга позната еднородна мерка. Овие мерни постапки имаат широка практична примена.

Мерните мостови често се користат за прецизно мерење на отпорноста. Точноста на мерењето директно зависи од точноста на компонентите од кои е составен мостот. Во мерните мостови се споредува вредноста на непознатата отпорност со точно познат отпор (еталон). Отчитувањето се базира на нулта индикација на осетлив мерен инструмент – галванометар, милиамперметар, со чија помош се одредува рамнотежата во мостот. Рамнотежата се остварува тогаш кога струјата низ галванометарот е нула.

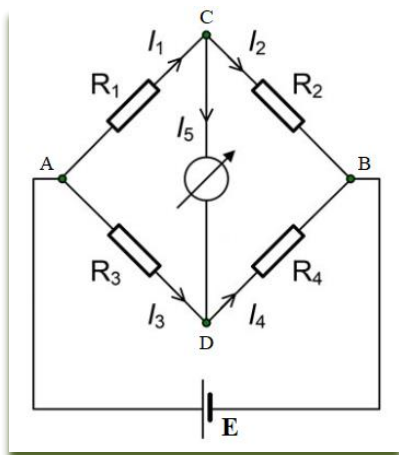
Основната конфигурација на мерниот мост се состои од четири импеданси поврзани помеѓу темињата на еден квадрат, нулиндикатор приклучен во едната дијагонала на квадратот, додека во другата дијагонала се приклучува извор за напојување, еднонасочен или наизменичен.

### 5.3.1 МОСТОВИ ЗА ЕДНОНАСОЧНА СТРУЈА

За мерење активна отпорност се користат мостовите за еднонасочна струја. Со нивна помош се остваруваат мерења со висока точност во широко подрачје од  $10^{-8} \Omega$ , па сè до  $10^{16} \Omega$ .

#### ➤ Витстонов мост

На слика 5.3 е дадена принципиелната шема на основната верзија на мерниот мост, познат како Витстонов (*Wheatstone*) мост.



Во дијагоналата AB е вклучен извор за напојување E, а во дијагоналата CD осетлив мерен инструмент-индикатор, со чија помош се одредува рамнотежата на мостот. Мостот се состои од четири гранки составени од отпорници. Во една од гранките се поврзува отпорник чија отпорност се мери, а другите гранки се составени од прецизни отпорници со вредност која може да се нагодува. Мостот е во рамнотежа кога струјата  $I_5=0$  A, притоа напонот  $U_{CD}=0$  V.

Сл. 5.3 Витстонов мерен мост

$$I_1 \cdot R_1 = I_3 \cdot R_3 \dots\dots\dots(5.13)$$

$$I_2 \cdot R_2 = I_4 \cdot R_4 \dots\dots\dots(5.14)$$

При рамнотежата струјата низ индикаторот  $I_5$  во гранката CD е еднаква на нула.

$$I_5 = 0 \Rightarrow \begin{cases} I_1 = I_2 \\ I_3 = I_4 \end{cases} \dots\dots\dots(5.15)$$

Ако се поделат равенствата 5.13 и 5.14 и се земе предвид равенството (5.15), се добива односот:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \dots\dots\dots(5.16)$$



Доколку отпорникот чија отпорност ја мериме се поврзе во првата гранка ( $R_1=R_X$ ), неговата отпорност се пресметува според изразот:

$$R_X = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4} \dots\dots\dots(5.17)$$

Витстоновите мерни мостови се градат за мерење активни отпорности во подрачјето од 10 Ω, па до 10 MΩ.

Се реализираат изведби како:

- Витстонов мост со декадни отпорности (10, 100, 1 000, 10 000 Ω)
- Витстонов мост со мерна жица.

Овој мост може да се употреби и за мерење неелектрични големини со отпорнички преобразувачи. На пример, доколку наместо отпорникот  $R_1$  се постави температурно зависен отпорник-термистор, а скалата на инструментот во мерната дијагонала се изградуира во единици за мерење температура, се добива мерен уред за мерење температура.

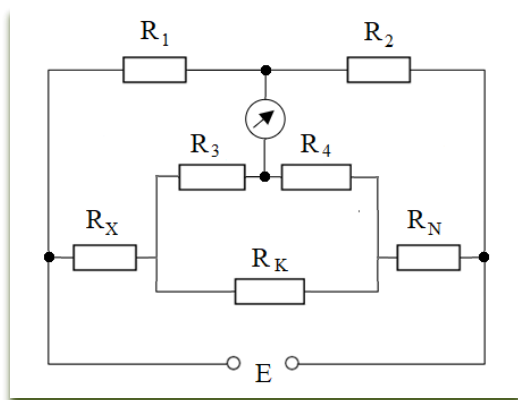
Други отпорнички сензори кои се применуваат во Витстоновиот мост се: фотоотпорнички сензори (**LDR-Light Dependent Resistor**), потенциометарски сензори (потенциометри), пиезоотпорнички сензори (мерење притисок) и др.

### ➤ Томсонов мост

Витстоновиот мост не е погоден за мерење многу мали отпорности (помали од 1 Ω), бидејќи влијанието на отпорноста на приклучоците, преку кои е приклучен непознатиот отпор, не е занемарливо. Големината на оваа отпорност зависи од големината и чистотата на контактната површина, притисокот и другите геометриски и физички параметри на контактниот спој и добрата изведба на врските. Покрај отпорноста на приклучоците, се јавуваат и паразитни отпорности на жиците за напојување во системот, кои, исто така, не можат целосно да се елиминираат. Сите овие несакани мали отпорности се додаваат на мерената непозната отпорност и се мерат заедно, што доведува до голема грешка при мерењето. Така, мерењето со Витстоновиот мост станува понесигурно при мерење многу мали отпорности.

За мерење многу мали отпорности се користат специјални методи врз кои немаат влијание паразитните отпорности. Еден од овие методи е Томсоновиот мост.

На слика 5.4 е дадена принципиелна шема на Томсоновиот мост кој е варијанта на Витстоновиот мост. За мерење многу мали вредности на отпорности низ отпорникот  $R_X$  и низ споредбениот отпорник  $R_N$ , треба да се пропушти значителна струја за да се добијат одредени падови на напон на нивните краеве. Со  $R_K$  е претставена отпорноста на контактите која не влијае на воспоставување рамнотежа на мостот.

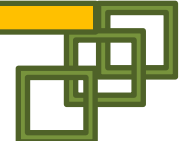


Сл. 5.4: Томсонов мерен мост

Ако усвоиме дека важи равенството (5.16), тогаш вредноста на непознатата отпорност, кога мостот е во рамнотежа, се одредува според равенството (5.18):

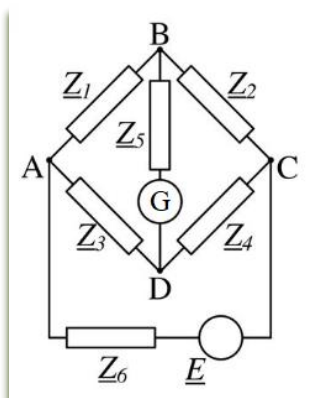
$$R_X = R_N \cdot \frac{R_1}{R_2} \dots\dots\dots(5.18)$$

Томсоновиот мост има помала осетливост во споредба со Витстоновиот мост, но е незаменлив за прецизни мерења многу мали вредности на отпорности. Заради избегнување на систематски грешки најчесто се вршат повеќекратни мерења и како резултат се зема средната вредност од извршените мерења.



### 5.3.2 МОСТОВИ ЗА НАИЗМЕНИЧНА СТРУЈА

Мостовите за наизменична струја овозможуваат меѓусебна споредба на сложени импеданси кои може да содржат капацитивни и индуктивни елементи, за разлика од чистата отпорност во еднонасочните мостови. Се напојуваат со наизменичен напон со позната фреквенција. Со нивна помош се мерат параметрите на елементите во колата со наизменични струи: капацитивност и индуктивност, фреквенција, фактор на загуби на кондензатори, фактор на добротата на индуктивитети и заемна индуктивност.



Сл. 5.5: Општа шема на мерен мост за наизменична струја

Општ пример за наизменичен Витстонов мост е даден на слика 5.5. Отпорниците  $R$  во гранките на Витстонов мост за еднонасочна струја се заменуваат со импеданси  $\underline{Z} = R + jX$ , каде  $j$  е имагинарна единица. Во дијагоналата  $BD$  на мостот се приклучува осетлив индикатор за наизменичен сигнал, инструмент со кој се детектира и амплитудата и напонската фаза на наизменичниот сигнал. Со  $\underline{Z}_5$  е претставена импедансата на галванометарот, додека со  $\underline{Z}_6$  импедансата на изворот на наизменичниот напон  $\underline{E}$ . Точноста на мерењето не зависи од овие импеданси, како и од изворот за напојување.

Рамнотежа на мостот се постигнува при  $\underline{U}_{BD} = 0$ . Изразот за рамнотежа на мостот се добива како и кај мостовите за еднонасочна струја (5.16):

$$\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_4 = \underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3 \quad \dots\dots\dots(5.19)$$

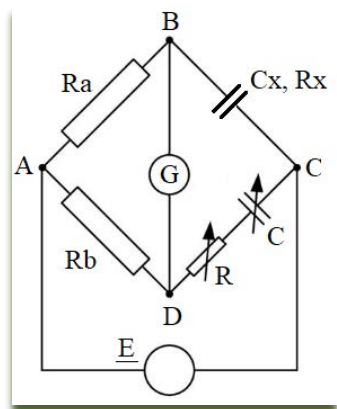
Со замена на комплексен израз за импедансата,  $\underline{Z} = R + jX$ , во изразот (5.19) и условот за рамнотежа на мостот за еднонасочна струја, и математички операции за комплексни изрази, се добива:

$$\begin{aligned} X_1 \cdot X_4 &= X_2 \cdot X_3 \\ \varphi_1 + \varphi_4 &= \varphi_2 + \varphi_3 \end{aligned} \quad \begin{aligned} X &\text{ – реактивна отпорност} \\ \varphi &\text{ – фазна разлика помеѓу напонот и струјата} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(5.20)$$

### 5.3.3 ПРИМЕНА НА МОСТОВИ ЗА НАИЗМЕНИЧНА СТРУЈА

\* **Мерни мостови за мерење капацитивност**

**Винов мост** за мерење непозната капацитивност на кондензатор се користи кога загубите во кондензаторот ( $R_X$ ) не можат да се занемарат. Од условот за рамнотежа на мостот се добиени изразите за пресметување на непознатата капацитивност  $C_X$ , активната отпорност  $R_X$  и факторот на загуби  $\delta$  на мерениот кондензатор  $C_X$ .



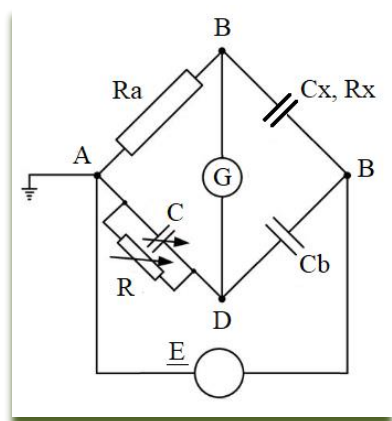
$$R_a \cdot \left( R + \frac{1}{j\omega C} \right) = R_b \cdot \left( R_X + \frac{1}{j\omega C_X} \right)$$

$$R_X = R \cdot \frac{R_a}{R_b}$$

$$C_X = C \cdot \frac{R_a}{R_b}$$

$$\operatorname{tg} \delta = \omega \cdot R_X \cdot C_X = \omega \cdot R \cdot C$$

Со примена на паралелна врска на променливата отпорност  $R$  и променливата капацитивност  $C$ , се добива **Шерингов мост** за мерење непозната капацитивност  $C_X$ .

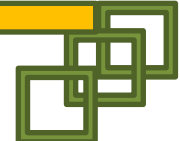


$$R_a \cdot \frac{1}{j\omega C_b} = \left( R_X + \frac{1}{j\omega C_X} \right) \cdot \frac{1}{\frac{1}{R} + j\omega C}$$

$$R_X = R_a \cdot \frac{C}{C_b}$$

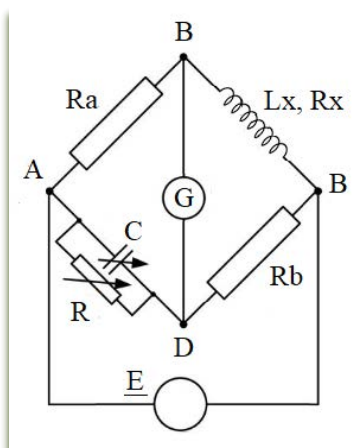
$$C_X = C_b \cdot \frac{R}{R_a}$$

$$\operatorname{tg} \delta = \omega \cdot R \cdot C$$



\* Мерни мостови за мерење индуктивност

Со **Максвел-Винов мост** вредноста на непознатата индуктивност се мери преку споредба со вредноста на променлив стандарден кондензатор. Во услов на рамнотежа за параметрите на калемот: индуктивноста  $L_x$ , активната отпорност  $R_x$  и факторот на доброта  $Q$ , важи:



$$R_a \cdot R_b = (R_x + j\omega L_x) \cdot \frac{1}{\frac{1}{R} + j\omega C}$$

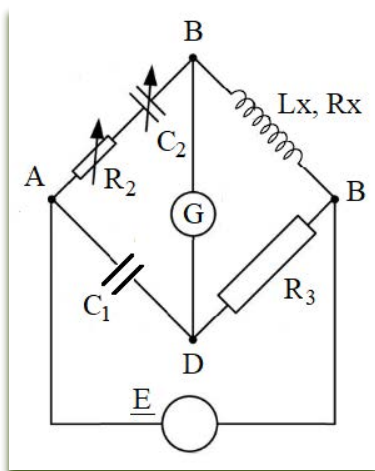
$$R_x = R_a \cdot \frac{R_b}{R}$$

$$L_x = R_a \cdot R_b \cdot C$$

$$Q = \omega \cdot \frac{L_x}{R_x} = \omega \cdot R \cdot C$$

Максвел-Виновиот мост не е добар избор кога станува збор за мерење индуктивности со мал фактор на доброта.

Друга изведба на мерен мост за мерење параметри на калем е **Овенов мост**, кој се применува за мерење индуктивности со мал фактор на доброта.



$$(R_2 + \frac{1}{j\omega C_2}) \cdot R_3 = (R_x + j\omega L_x) \cdot \frac{1}{j\omega C_1}$$

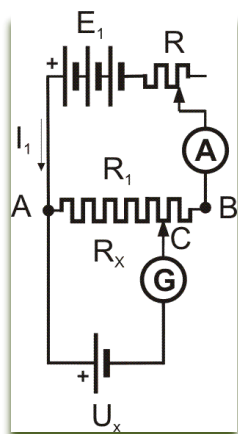
$$R_x = R_3 \cdot \frac{C_1}{C_2}$$

$$L_x = R_2 \cdot R_3 \cdot C_1$$

### 5.3.4 КОМПЕНЗАТОРИ ЗА ЕДНОНАСОЧНА СТРУЈА

Компензаторите се користат за многу прецизни мерења на еднонасочен напон, како и електрична струја, отпорност и моќност. Може да се користи за прецизно поставување позната вредност на еднонасочен напон во широк опсег од 1 mV до 1000 V. Вака добиениот напон лесно се споредува со непознатиот напон и се утврдува нивната еднаквост со помош на нулиндикатор, што претставува принцип на компензаторна метода на мерење. Мерењето на струјата, отпорноста или која било друга електрична големина со помош на компензаторната метода е остварливо доколку мерената големина претходно е претворена во пропорционален еднонасочен напон. При вредности на мерениот напон еднакви со споредбениот, нулиндикаторот не покажува отклон на стрелка. При отчитување на резултатот од мерењето низ нулиндикаторот не тече струја. Тоа значи дека резултатот од мерењето не зависи ниту од отпорноста на нулиндикаторот, ниту од внатрешната отпорност на мерениот извор.

На слика 5.6 е дадена електрична шема на еден компензатор на еднонасочен напон.

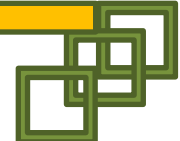


Сл.5.6: Електрична шема на компензационо мерење напон

**Компензаторот** е составен од две струјни кола. Во едното, со батерија  $E_1$  и отпорник  $R_1$ , изработен како мерна жица, тече струја  $I_1$  која предизвикува пад на напон меѓу стегалките во точките А и В на отпорникот  $R_1$ . Во другото струјно коло, меѓу точките на мерната жица А и С е приклучен изворот на непознат напон  $U_x$ , кој е предмет на мерење, преку галванометар на подвижната стегалка С. Со поместување на подвижната стегалка се менува отклонот на галванометарот. Се нагодува покажувањето на галванометарот да биде на средина (нула). Тоа значи дека не тече струја во второто коло, со што изворот на напонот што го мериме не е оптоварен. Напонот  $U_x$  е еднаков со падот на напон меѓу точките А и С:

$$U_x = R_x \cdot I_1 \dots\dots\dots(5.21)$$

Со мерење на електричната струја  $I_1$  со амперметар се пресметува вредноста на електричниот напон  $U_x$ .

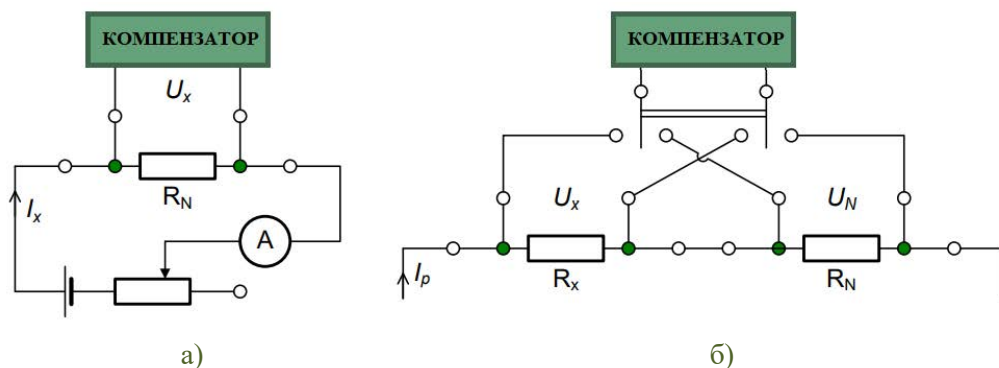


Со помош на компензаторите можат да се мерат и други електрични големини, како што се струја и отпорност. Струја се мери преку мерење пад на напон  $U_X$  на краевите од познат отпорник  $R_N$  (слика 5.7 а)).

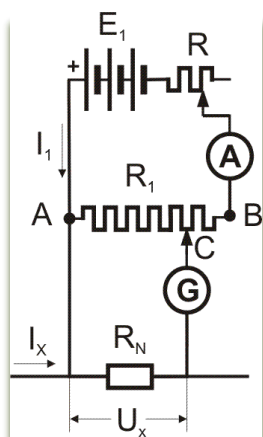
$$I_X = \frac{U_X}{R_N} \dots\dots\dots(5.22)$$

Отпорноста се мери со сериско поврзување на отпорникот кој се мери со некој познат отпорник (слика 5.7 б)).

$$R_X = R_N \cdot \frac{U_X}{U_N} \quad U_X - \text{напон на краевите на мерената отпорност} \\ U_N - \text{напон на краевите на отпорникот } R_N \dots\dots\dots(5.23)$$



Сл. 5.7: Принципиелна шема на компензатор за мерење а) струја и б) отпорност

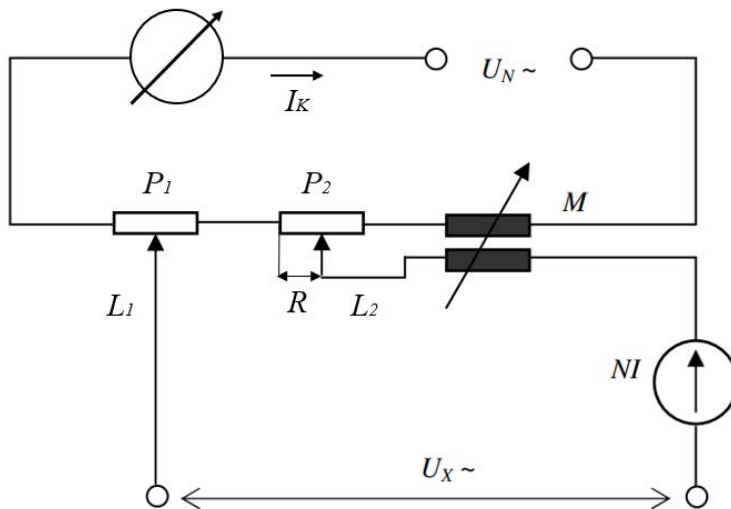


Сл. 5.8: Електрична шема на компензатор за мерење струја

Мерење јачина на електрична струја со **компензатор** претставува **индиректно мерење**. Електрична шема на компензатор за мерење струја е дадена на слика 5.8. Еталонскиот отпорник  $R_N$  низ кој тече струјата  $I_X$  која ја мериме, се приклучува меѓу точките А и С на отпорникот  $R_1$ . Оваа струја на еталонскиот отпорник предизвикува пад на напон  $U_X$  кој го мериме со компензаторот, во моментот кога галванометарот  $G$  нема да има отклон, според претходно опишаната метода за компензационо мерење напон.

## 5.3.5 КОМПЕНЗАТОРИ ЗА НАИЗМЕНИЧНА СТРУЈА

Компензаторите за наизменична струја во суштина работат на истиот принцип како и компензаторите за еднонасочна струја. Од нив се разликуваат, пред сè, по тоа што во повеќето случаи овозможуваат и мерење на напонското фазно поместување. Со компензаторите за наизменична струја, за да се искомпензира мерениот со компензацискиот напон, треба да се изедначат двата напона по вредност, фазна разлика и фреквенција. Ваквите компензатори се познати како комплексни. Точноста на мерењето наизменични напони зависи од употребениот еталон на наизменичен напон. Најчесто, кога не се користи еталон на напон, точноста со компензаторот се остварува само со утврдување на соодносот на мерениот и компензацискиот напон и нивното меѓусебно фазно поместување. На слика 5.9 е дадена електрична шема на комплексен компензатор со променлив меѓуиндуктивитет.



Сл. 5.9: Електрична шема на компензатор за наизменична струја

Напонот за компензација се состои од две компоненти  $U_a$  и  $U_b$ , со агол меѓу нив од  $90^\circ$ . Двете компоненти може да се менуваат по големина. Напонот  $U_a$  постои на активната отпорност  $R$  одредена со положбата на лизгачите  $L_1$  и  $L_2$  на потенциометрите  $P_1$  и  $P_2$ . Овој напон е во фаза со струја во помошното коло  $I_K$  ( $U_a = I_K \cdot R$ ). Струјата  $I_K$ , исто така, тече и низ примарната намотка на трансформаторот со променлив меѓуиндуктивитет  $M$ . Како последица на ова на секундарната намотка ќе се индуцира напонот  $U_b = j\omega M \cdot I_K$  кој е фазно поместен за  $90^\circ$  во однос на  $U_a$ .



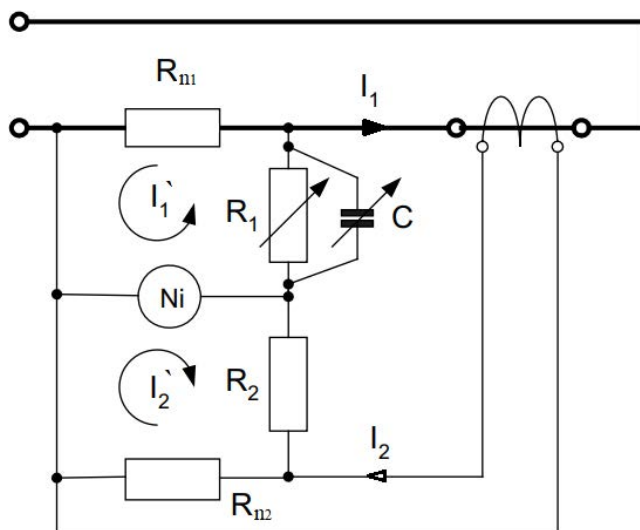
Напонот  $U_x$  кој е предмет на мерење се компензира со напоните  $U_a$  и  $U_b$ . Компензацијата е остварена кога низ нулиндикаторот нема да тече струја. Тогаш важи:

$$U_x = \sqrt{U_a^2 + U_b^2} = I_K \sqrt{R^2 + \omega^2 \cdot M^2} \dots\dots\dots(5.24)$$

Фазното поместување е одредено со релацијата:

$$tg\varphi = \frac{U_b}{U_a} = \frac{\omega \cdot M}{R} \dots\dots\dots(5.25)$$

Слика 5.10 го прикажува примерот на примена на компензатор на наизменична струја за тестирање струен трансформатор.



Сл. 5.10: Примена на компензатор на наизменична струја како уред за тестирање трансформатор

Примарната струја  $I_1$  и секундарната струја  $I_2$  се споредуваат со опаѓање на напонот на номиналните отпорници  $R_{n1}$  и  $R_{n2}$ . Колото се балансира со промена на амплитудата, која се менува со помош на отпорникот  $R_1$ , како и со промена на фазата, која се менува со помош на кондензаторот  $C$ .

Во состојба на рамнотежа и вредностите на струите  $I_1'$  и  $I_2'$  се исти, а стрелката на нулиндикатор покажува нула. Односот на трансформацијата  $n$  и аголната грешка на трансформаторот  $tg\gamma$  може да се одреди со изразите (5.26) и (5.27):

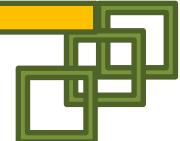
$$n = \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_{n2} \cdot R_1}{R_{n1} \cdot R_2} \dots\dots\dots(5.26)$$

$$tg\gamma \cong \omega \cdot R_1 \cdot C \dots\dots\dots(5.27)$$



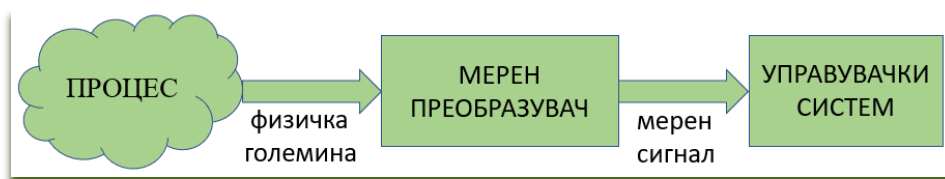
➤ Со непосредни мерења бројната вредност на мерената големина изразена со нејзината мерна единица се одредува со користење соодветен електричен инструмент.

- Индиректни мерења се користат за одредување на бројните вредности на големините кои се вклучени во одредена физичка појава, а се во релација со големината што ја мериме, според одреден физички закон.
- U-I методите, мерните мостови и компензаторите спаѓаат во индиректни мерни методи.
- Мостовите за наизменична струја овозможуваат меѓусебна споредба на сложени импеданси кои може да содржат капацитивни и индуктивни елементи, за разлика од чистите отпорности во еднонасочните мостови.
- Со Винов мост се мери непозната капацитивност на кондензатор.
- Со Максвел-Винов мост вредноста на непознатата индуктивност се мери преку споредба со вредноста на променлив стандарден кондензатор.
- Мерење јачина на струја со компензатор претставува индиректно мерење.
- Компензаторите се користат за многу прецизни мерења на еднонасочен напон, како и електрична струја, отпорност и моќност.



## 5.4 МЕРНИ ПРЕОБРАЗУВАЧИ ЗА НЕЕЛЕКТРИЧНИ ГОЛЕМИНИ

За управување со системи за автоматско управување се потребни информации за квалитативните и квантитативните карактеристики на процесот. Карактеристични големини за кои се прибираат податоци се: температура, притисок, проток, ниво, положба, присуство, време, брзина, забрзување и слично. Добиените информации од процесот се обработуваат и според даден алгоритам контролниот уред генерира сигнал, кој преку извршните органи се пренесува на процесот. Информациите од процесот се добиваат со мерење на физичките големини, кои го карактеризираат однесувањето на процесот. Мерните уреди кои прибираат информации за физичката големина од процесот и генерираат мерен сигнал се нарекуваат мерни преобразувачи.



Сл.5.11: Блок-шема на мерен преобразувач во мерен систем

Електричните мерни преобразувачи се технички уреди кои мерната физичка големина, како влезна големина, ја трансформираат во електричен сигнал, како излезен сигнал, каде што постои, со одредена точност, дефиниран однос на влезната и излезната големина за дефинираните работни услови на преобразувачот. Општо земено, мерните преобразувачи трансформираат една форма на енергија во друга, обезбедувајќи сигнал на излез што е репрезент на мерната големина и со тоа овозможуваат мерење. Видови форми на енергија, дефинирани во физиката, се дадени во табела 5.1.

Табела 5.1. Форми на енергија

Форма на енергија	Опис
Кинетичка	Поседува тело во движење
Потенцијална	Енергија што ја има телото во физичко поле

Механичка	Збир на макроскопска кинетичка и потенцијална енергија
Енергија на механички бран	Енергијата што се пренесува со ширење механички бранови во материјалот, на пр., акустична енергија
Хемиска	Способност на хемиските супстанции да ослободуваат топлина или да менуваат други хемиски супстанции
Електрична	Енергија која потекнува од електрично поле
Магнетна	Енергија која потекнува од магнетно поле
Енергија на зрачење	Енергија на електромагнетното зрачење
Нуклеарна	Енергија што ги врзува протоните и неутроните во јадрото на атомот
Енергија на јонизација	Енергијата што врзува електрон за јадрото на атомот
Еластична	Енергија на пластична деформација на материјали
Гравитациска	Енергија која потекнува од гравитационото поле
Енергија на телата во мирување	Енергија на телото во мирување $E = m \cdot c^2$
Термичка	Макроскопска мерка на средната кинетичка енергија на молекулите во материјалот (мерка ентропија)
Топлинска	Количина на топлинска енергија што се пренесува во насока на надолниот градиент на температура (од потопло до поладно место)
Механичка	Количеството на енергија што се пренесува во еден процес поради промена на положбата во насока на дејство на некоја механичка сила

Мерните преобразувачи се уреди кои кога се изложени на физички променливи, како температура, движење, сила и други, генерираат сигнал пропорционален на промената на физичката големина. Во стручната литература може да се сретнат и со поимот давачи, сетила или сензори.



## Поделба на мерните преобразувачи

- Според принципот на преобразба на неелектричната големина во електричен сигнал, мерните преобразувачи се делат на:
  - ◆ Потенциометарски (отпорнички);
  - ◆ Тензометарски;
  - ◆ Индуктивни;
  - ◆ Капацитивни;
  - ◆ Пиезоелектрични;
  - ◆ Термоелектрични;
  - ◆ Термоотпорнички;
  - ◆ Дигитални (паметни) сензори.
  
- Мерните преобразувачи се делат според природата на физичката големина која ја мерат (сензори за температура, притисок, движење, сила и слично).
  
- Според влезната енергија, се класифицираат во две категории: пасивни и активни.
  - ◆ Пасивните мерни преобразувачи имаат потреба од дополнителен извор на напојување, ја користат енергијата од управувачкиот систем (отпорнички, капацитивни, индуктивни).
  - ◆ Активните мерни преобразувачи немаат потреба од дополнителна надворешна енергија за генерирање излезен сигнал кој може да се мери со систем за прибирање податоци. Примери за активни сензори вклучуваат термодвојки, фотодиоди, фототранзистори и пиезоелектрични сензори.
  
- Според видот на излезниот сигнал, мерните преобразувачи се делат на дигитални и аналогни (дигиталните се бинарни, генерираат „0“ или „1“, додека аналогните прикажуваат квантитет, т.е. количина на измерената физичка променлива).

### 5.4.1 ПОТЕНЦИОМЕТАРСКИ МЕРНИ ПРЕОБРАЗУВАЧИ

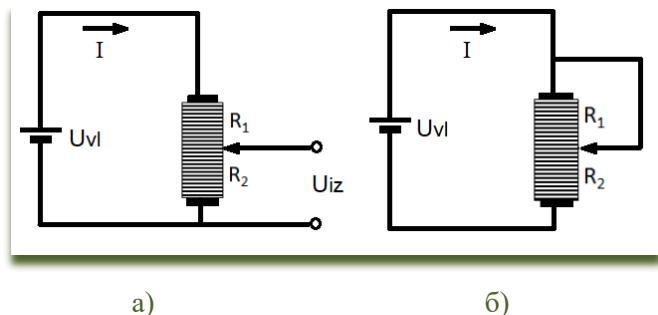
Мерењето на положбата може да се реализира со помош на линеарен или аглов отпорник каде отпорноста е директно пропорционална со должината на отпорникот низ кој тече струјата.

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

$l$  – должина на отпорникот,  
 $\rho$  – специфична отпорност на материјалот од кој е изработена жицата  
 $S$  – површина на попречен пресек на отпорникот.....(5.28)

Кога површината на пресекот и специфичната отпорност на жицата се константни, отпорноста ќе зависи од должината на жицата. Според Омовиот закон  $U=R \cdot I$ , промената на отпорноста може да предизвика промена на јачината на електричната струја или промена на напонот. Ова е причината зошто постојат два типа на променливи отпорници:

- ❖ потенциометар, со промена на отпорноста се менува напонот  $U_{iz}$ , едниот приклучок е неподвижен, а другиот е подвижен поврзан со лизгачот (слика 5.12 а)) и
- ❖ реостат, со менување на отпорноста се менува јачината на електричната струја  $I$ , двата приклучоци се неподвижни (сл. 5.12 б).



$$U_{iz} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{vl}$$

Сл. 5.12: Отпорници со променлива отпорност а) потенциометар и б) реостат

**Потенциометарските преобразувачи** претставуваат отпорници со променлива отпорност со лизгачки или ротирачки контакт со кој се формира напонски делител. Механичкото поместување на лизгачот на потенциометарот на отпорничкиот делител се претвора во пропорционална

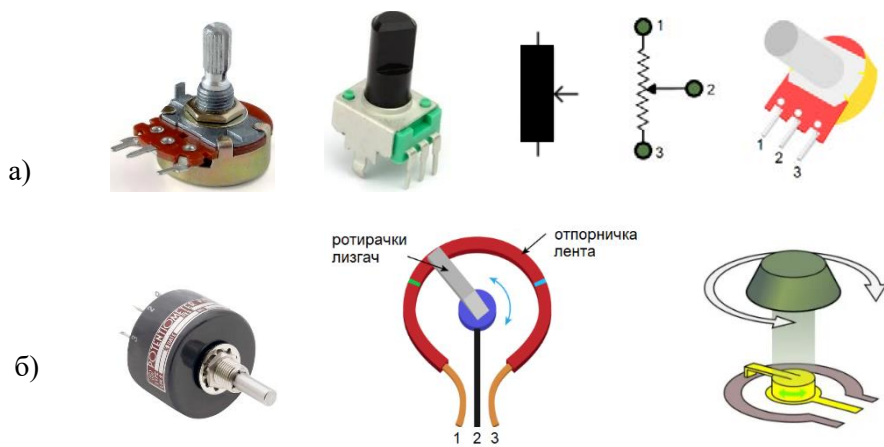
5. Мерни методи за мерење електрични и неелектрични големини



електрична големина. Преносната функција на потенциометарските преобразувачи е дадена со релацијата (5.29):

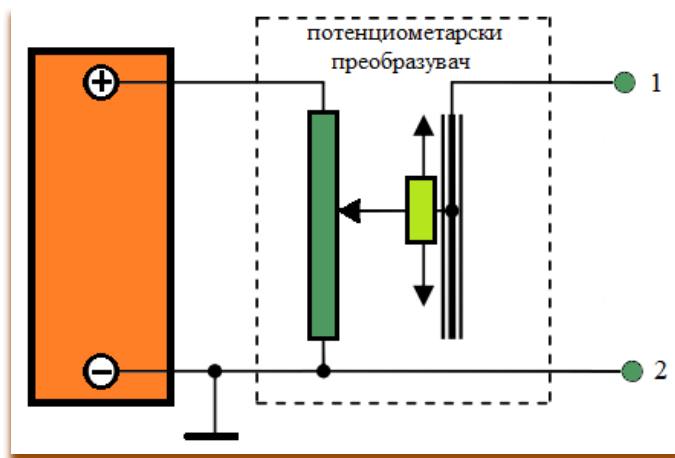
$$R = f(x) \quad x - \text{механичко поместување} \dots \dots \dots (5.29)$$

На слика 5.13 дадени се прикази на а) линеарен и б) аголен потенциометарски преобразувач.



Сл. 5.13: Физички изглед и принципиелен приказ на а) линеарен и б) аголен потенциометарски преобразувач

Потенциометарскиот преобразувач се применува во мерни кола за мерење поместувања (слика 5.14).



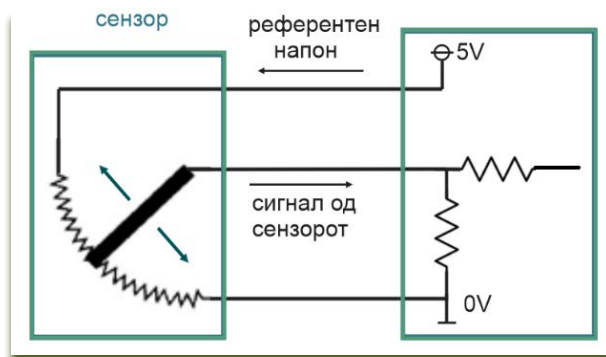
Сл. 5.14: Мерно коло со отпорнички делител

Добиениот напон меѓу краевите 1 и 2,  $U_{12}$ , е пропорционален со мерното поместување на лизгачот на потенциометарскиот преобразувач.

$$U_{12} = k \cdot x$$

$k$  – коефициент на пропорционалност во однос на централна положба  
 $x$  – механичко поместување.....(5.30)

Како пример, потенциометарскиот преобразувач се применува во сензор со крилца за мерење проток на воздух во моторот на автомобилот. Принципот на мерење се темели врз мерењето на силата од струењето на воздухот, која дејствува на мерното крилце. Колку е поголем отворот кој го прави крилцето, толку е поголема количината на воздух што влегува во моторот. Положбата на крилцето ја регулира електронска единица преку потенциометарот. Електричната отпорност на потенциометарот се менува пропорционално со аголот на отворање на крилцето. Напонскиот сигнал од потенциометарот, кој е пропорционален на количеството воздух што влегува во моторот, се предава на електронската единица која управува со положбата на крилцето. На слика 5.15 е прикажан **MAF** (*Mass Air Flow*) сензор со крилца во мерно коло.



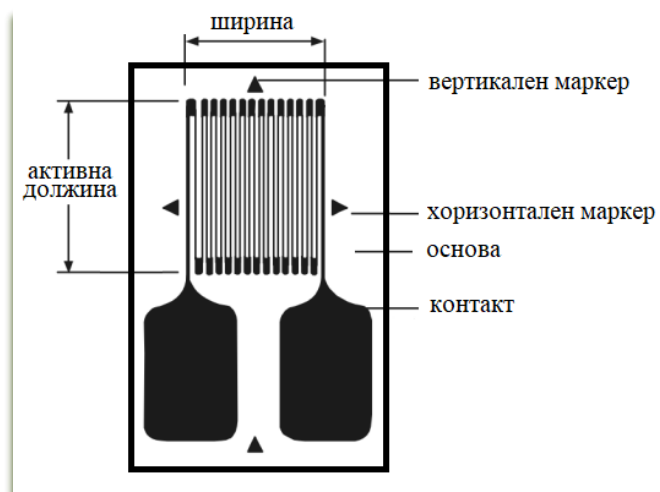
Сл. 5.15: MAF сензор со крилца



## 5.4.2 ТЕНЗОМЕТАРСКИ МЕРНИ ПРЕОБРАЗУВАЧИ

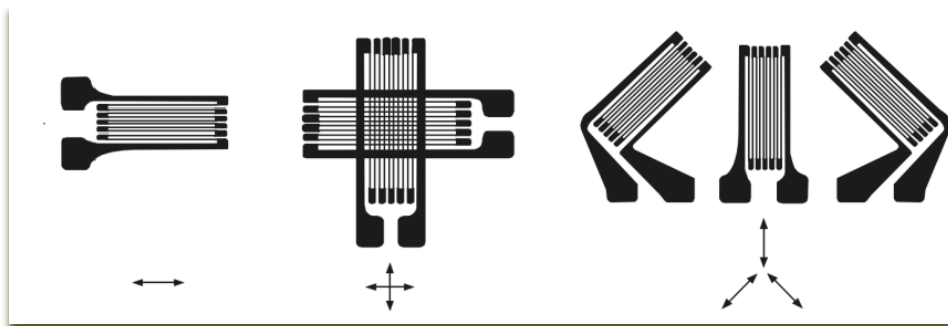


Електроотпорнички тензометар претставува сензор за механичка деформација. Се среќава и под називот тензоотпорник, растеглива лента или мерна лента. Според начинот на изработка се разликуваат тензометри со жица и тензометри со фолија. На подлога од хартија, синтетичка смола или полимерен материјал се нанесува тенка жица со дијаметар од 0,025 mm или метални фолии, кои со фотографски процес се обликуваат врз основата (слика 5.16).

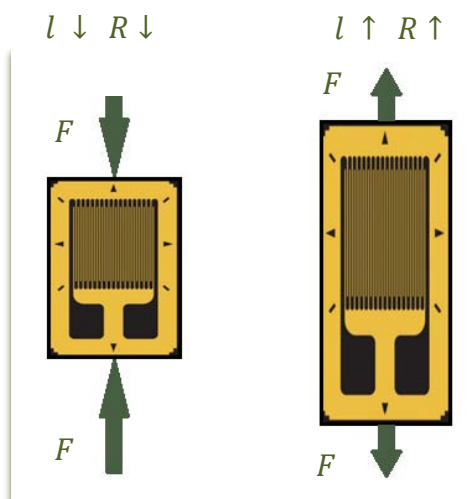


Сл. 5.16: Структура на тензометарски претворувач

Принципот на работа на тензометарот се базира на промена на електричната отпорност на спроводник/полупроводник во зависност од промената на должината. Неелектрични големини, како притисок, сила, момент, забрзување, вибрации и др., преку механички сили дејствуваат на тензометрите и предизвикуваат еластична деформација, а со тоа и промена на отпорноста на тензометарот. Преку мерење на отпорноста на тензометарот може да се измери интензитетот на неелектричната големина која е причина за деформацијата. Тензометрите се вградуваат во различни типови на сензори. На слика 5.17 се прикажани сензори: а) со еден тензометар каде силата дејствува во еден правец, б) со два тензометра каде дејствува сила во правец на координатите  $x$  и  $y$ , в) со три тензометри, силата дејствува во правец на координатите  $x$ ,  $y$  и  $z$ .



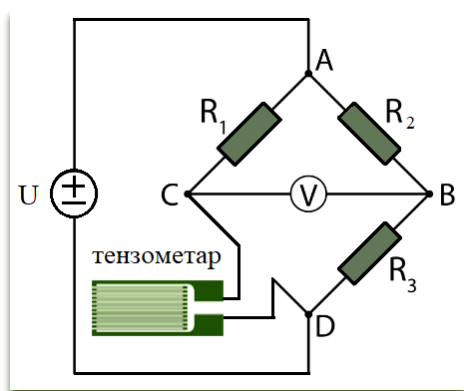
Сл. 5.17: Тензометри



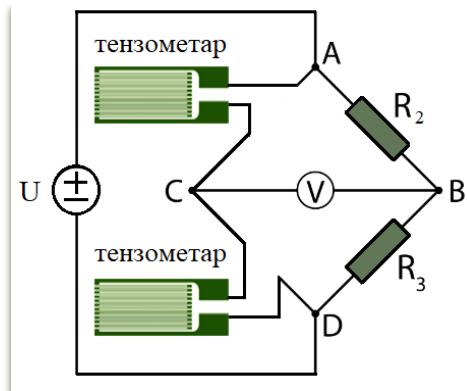
а) компресија      б) растегнување

Сл. 5.18: Деформација на тензометар

Кога на тензометарот дејствува сила во насока на компресија, се намалува должината на спроводникот што ќе доведе и до намалување на неговата отпорност (слика 5.18 а)). Во спротивно, кога силата дејствува во насока на растегнување, се зголемува должината и отпорноста на спроводникот (слика 5.18 б)).



а)



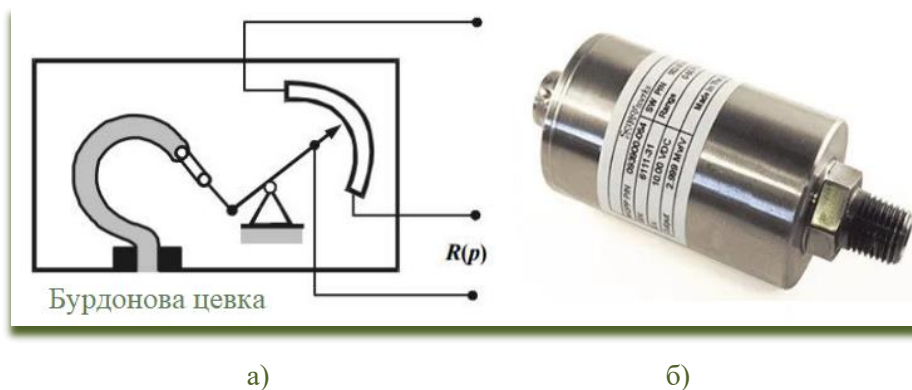
б)

Сл. 5.19: Мерен мост со а) еден тензометар и б) два тензометри



На слика 5.19 а) е прикажано колото на мерен мост со тензометар во една гранка. Со волтметар во дијагоналата на мостот, гранката СВ, се мери големината на неелектричната големина која дејствува на тензометарот. Услов за рамнотежа на мостот е односот на отпорностите  $R_2$  и  $R_3$  да е еднаков на односот на отпорноста на  $R_1$  и отпорноста на тензометарот. Кога на тензометарот не дејствува сила мостот е во рамнотежа, а волтметарот покажува вредност нула. При промена на отпорноста на тензометарот, мостот станува неуррамнотежен и се јавува индикација на волтметарот. Уште еден фактор што влијае на отпорноста на тензометарот е температурата. Ако температурата е поголема, отпорноста ќе биде поголема, а ако температурата е помала, отпорот ќе биде помал. За компензација на грешките поради температурните влијанија во практиката се користат мерни мостови во кои се вклучуваат по два идентични тензометри (слика 5.19 б)).

Една од примените на тензометарот е прикажана на слика 5.20, во потенциометарски сензор за притисок со Бурдонова цевка. Мерената отпорност зависи од дејството на притисокот на флуидот кој навлегува во цевката која се шири или се собира.



Сл. 5.20: Потенциометарски сензор за притисок: а) конструкција и б) изглед

### 5.4.3 ИНДУКТИВНИ МЕРНИ ПРЕОБРАЗУВАЧИ

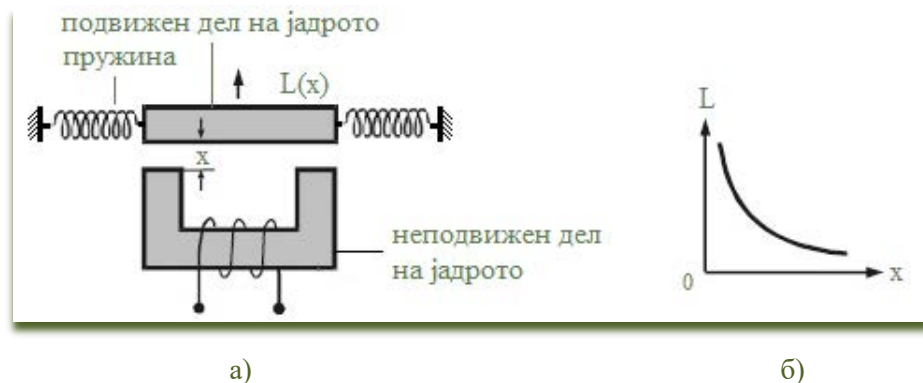
Индуктивните преобразувачи, кои се нарекуваат и електромагнетни, спаѓаат во групата на пасивни давачи, давачи кои е потребно електрично да се побудат. Се применуваат за мерење поместување, забрзување, сила, притисок.

Индуктивноста на калемот зависи од повеќе параметри: број на навивките ( $n$ ), напречен пресек на јадрото ( $S$ ), должина на магнетната

$$L = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{n^2 \cdot S}{\mu_r \cdot x + l} \dots\dots(5.31)$$

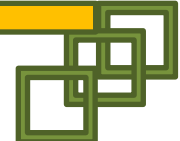
линија ( $l$ ), магнетна пермеабилност на воздухот ( $\mu_0$ ), релативна магнетна пермеабилност на феромагнетниот материјал од кој е изработено јадрото ( $\mu_r$ ), растојание меѓу подвижниот и неподвижниот дел на јадрото ( $x$ ) (равенка 5.31). Со промена на кој било параметар се менува индуктивноста на калемот. Поради тоа постојат различни изведби на индуктивни преобразувачи.

Електромагнетните преобразувачи со подвижно јадро се состојат од калем намотан на феромагнетно јадро. Јадрото се состои од еден неподвижен и еден подвижен дел, со растојание  $x$  меѓу нив кое се менува при поместување на подвижниот дел (слика 5.21 а)). Мерењата сила дејствува на подвижниот дел, што доведува до промена на индуктивноста на калемот.

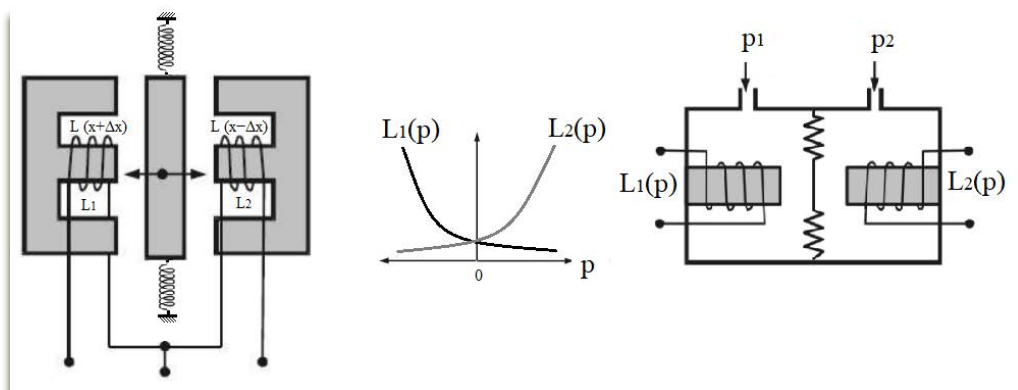


Сл. 5.21: Индуктивен преобразувач со подвижно јадро: а) конструкција, б) преносна карактеристика

На слика 5.21 б) е прикажана преносната карактеристика на индуктивниот преобразувач, односно зависноста на излезната големина, индуктивноста  $L$  од влезната големина, поместувањето  $x$ . Може да се забележи дека зависноста е обратно пропорционална, што може да се воочи и од аналитичката зависност дадена со равенката (5.31). Со приближување на подвижниот дел од јадрото до неподвижниот дел, растојанието се намалува и индуктивноста се зголемува. Недостаток на индуктивните сензори е нелинеарноста на статичката карактеристика, малиот опсег на



промена на растојанието меѓу подвижниот и неподвижниот дел од јадрото и температурните влијанија. Овој недостаток е надминат со примена на диференцијалните индуктивни преобразувачи (5.22).



а)

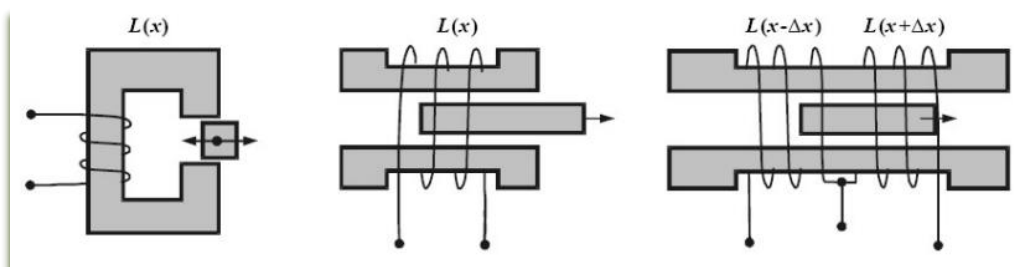
б)

в)

Сл. 5.22: Диференцијален индуктивен преобразувач со подвижно јадро:  
а) конструкција, б) преносна карактеристика и в) изведба

При движење на подвижното јадро, јадрото се приближува кон едниот калем, а се оддалечува од другиот, така што индуктивноста на едната намотка се зголемува, а на другата се намалува. Диференцијалниот сензор овозможува мерење позитивно и негативно поместување на јадрото, со двојно поголем опсег во споредба со сензорот со еден калем. При мерење притисок, поместувањето  $x$  зависи од големината на мерениот притисок. Диференцијалниот сензор се поврзува во симетричен мост.

На слика 5.23 се прикажани конструктивни изведби на индуктивни сензори со променлива површина на воздушниот процеп.



Сл. 5.23: Индуктивни преобразувачи со променлива површина на воздушниот процеп

Денес, во индустријата индуктивните сензори се од суштинско значење. Нивни предности во споредба со механичките прекинувачи се:

- ❖ бесконтактен прекинувач (без абење, практично неограничен работен век);
- ❖ заштита од спротивен поларитет на напојувањето и краток спој на излезот;
- ❖ нечувствителен на вибрации, прашина и влага (може да работи во исклучително тешки услови).

Индуктивните сензори се користат во многу различни апликации. Се користат при контрола, регулација, автоматизација, позиционирање и следење на производствениот процес.

#### 5.4.4 КАПАЦИТИВНИ МЕРНИ ПРЕОБРАЗУВАЧИ



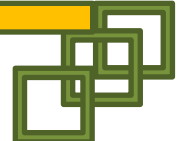
Капацитивните сензори претставуваат мерачи на капацитивност на кондензатор која се менува под дејство на неелектрична големина. Капацитивноста на кондензаторот се одредува според релацијата:

$$C = \varepsilon \frac{S}{d}$$

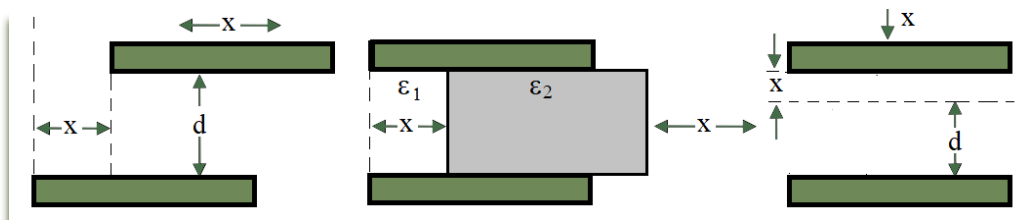
$S$  – активна површина на плочите,  
 $\varepsilon$  – диелектрична константа на изолаторот меѓу плочите  
 $d$  – растојание меѓу плочите.....(5.32)

Доколку под влијание на некоја неелектрична големина се менуваат параметрите на кондензаторот,  $S$ ,  $d$  или  $\varepsilon$ , ќе се менува и капацитивноста на кондензаторот  $C$ . Во зависност од тоа кој параметар се менува, постојат различни дизајни на капацитивни сензори кои:

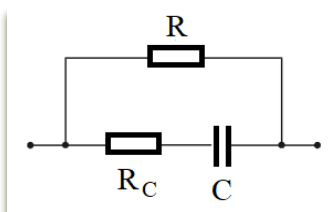
- ◆ со промена на активната површина се користат за мерење поместувања од 1 до 10 cm при константно растојание меѓу плочите (слика 5.24 а));
- ◆ со промена на диелектрична константа се мери влажност, температура, ниво на течности и дебелина на материјал (слика 5.24 б));



- ◆ со промена на растојанието се мерат линеарни и аголни поместувања, вибрации, притисок, брзина или забрзување (слика 5.24 в)).



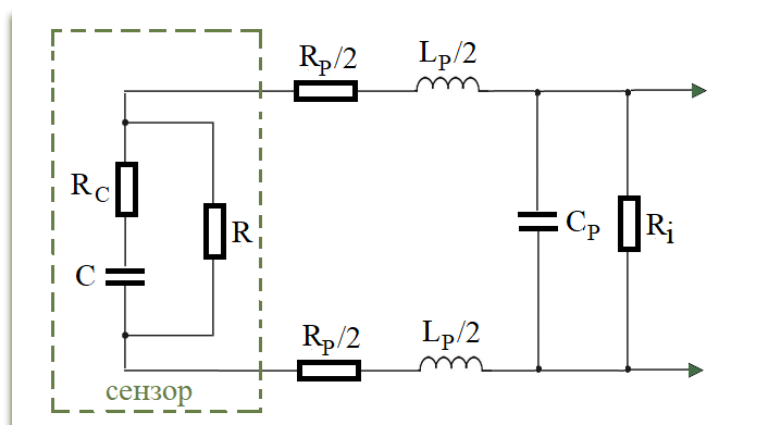
Сл. 5.24: Капацитивни преобразувачи со промена на: а) активната површина, б) диелектричната константа и в) растојанието меѓу плочите



Сл. 5.25: Еквивалентна шема на капацитивен сензор

Капацитивните сензори имаат одредена индуктивност и омска отпорност. Нивната индуктивност е многу мала, и најчесто може да се занемари, додека отпорноста има значителна вредност. Овие својства на капацитивниот сензор може да се прикажат со еквивалентна шема на слика 5.25. Со  $R_C$  е претставена внатрешната отпорност на сензорот, додека со  $R$  е означена отпорноста на диелектрикот.

Капацитивните преобразувачи најчесто се поврзуваат во мостни мерни кола (слика 5.26). Со  $R_p$ ,  $L_p$  и  $C_p$  се претставени отпорноста, индуктивноста и капацитивноста на спроводниците, редоследно, додека со  $R_i$  отпорноста на изолацијата.

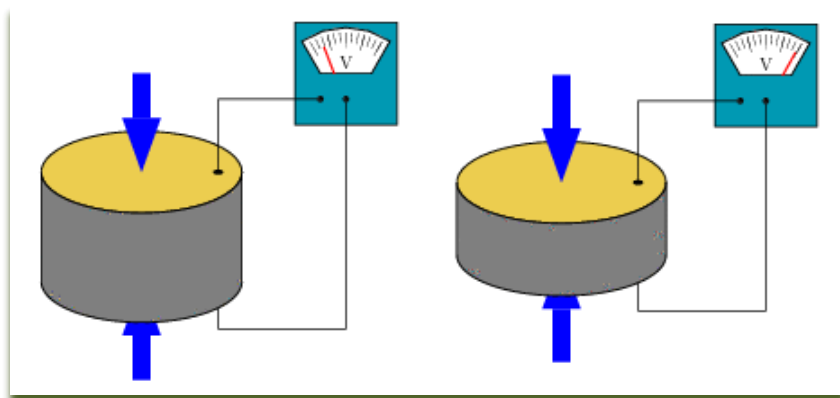


Сл. 5.26: Поврзување капацитивни преобразувач во мерен мост

### 5.4.5 ПИЕЗОЕЛЕКТРИЧНИ МЕРНИ ПРЕОБРАЗУВАЧИ

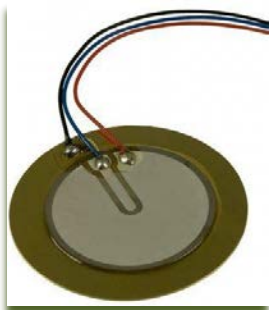
Некои видови кристали и керамички материјали имаат способност за генерирање електричен потенцијал, како реакција на механички удар или притисок на неговата површина. На страните на таков елемент се создава електричен полнеж, кој е наречен пиезоелектричен електрицитет. Називот доаѓа од грчкиот збор „πίεση“ кој означува притисок или стегање.

Основна карактеристика на овој ефект е реверзибилниот карактер, што значи дека кристалот, направен од такви материјали, произведува притисок или удар кога на неговите страни се приклучува електричен потенцијал. Еден пиезоелектричен кристал е електрично неутрален, тој има меѓусебно разделени и симетрично поставени позитивни и негативни електрични полнежи. Тие формираат електрични диполи, наредени во региони. Овие региони се ориентирани без некој ред, но можат да се ориентираат со примена на јако електрично поле, особено при повисоки температури. Оваа симетрија се постигнува и со примена на притисок и електричните полнежи притоа генерираат напон. Спротивниот ефект, со примена на електрично поле доаѓа до механичка деформација во кристалот.



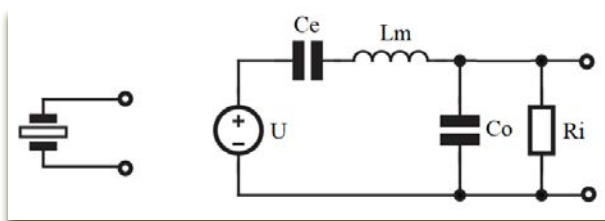
Сл. 5.27: Зависност на генерираниот напон од големината на притисокот врз сензорот

## 5. Мерни методи за мерење електрични и неелектрични големини



Пиезоелектрични сензори се уреди за детекција на промена на притисок. Тие се користат за мерење вибрации, притисок, забрзување, сила на стегаше, контрола на квалитет и за контрола на разни процеси, така што ги претвораат во електрични сигнали. Промените создадени од звучни сигнали се детектираат со пиезоелектрични микрофони и звучници за електрични гитари. Спротивниот ефект, претворање на променлив напон во промена на притисок е искористен за електронско своно во телефонски апарати и алармни системи, во форма на метален диск со залепен пиезоелектричен диск. Во електронски кола примена наоѓаат за пиезокерамички филтри и линии за доцнење во ТВ-приемници. Пиезоелектричните сензори се користат во ултразвучните претворувачи за медицински снимања, како и за индустриска контрола на заварени конструкции. Ултразвучните претворувачи емитуваат ултразвучни бранови во телото, го примаат одбиениот бран и го претвораат во електричен сигнал. Пиезоелектричните особини на кварцот се користат за изработка на фреквенциски стандарди за кварцни часовници, осцилаторни кола во радиопредаватели, радиоприемници и во компјутери.

Шематскиот симбол и електронскиот модел на пиезоелектричниот сензор се дадени на слика 5.28. Пиезоелектричниот претворувач се карактеризира со голема излезна импеданса и тој се претставува како напонски извор  $U$  и филтерска мрежа. Напонот на изворот е директно пропорционален на механичката сила или притисок, на која е тој изложен.

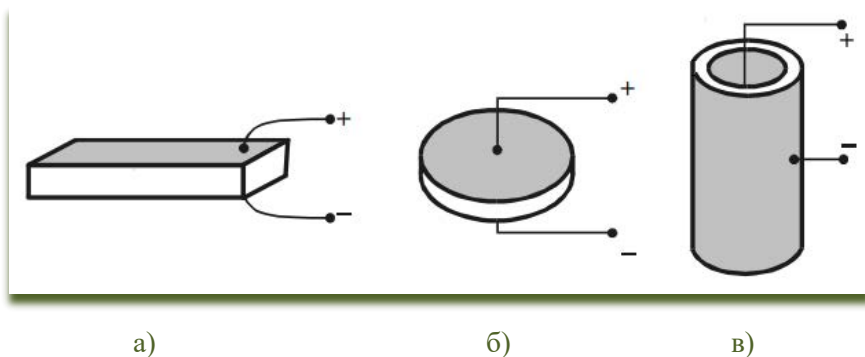


$R_i$  – отпорност на изолаторот  
 $C_e$  – еластичност на материјалот  
 $L_m$  – инерција на сензорот  
 $C_o$  – капацитивност на сензорот

а) б)

Сл. 5.28: Пиезоелектричен сензор: а) симбол и б) еквивалентна шема

На слика 5.29 се прикажани изведби на пиезоелектричен сензор во форма на: а) лента, б) диск и в) цилиндар.

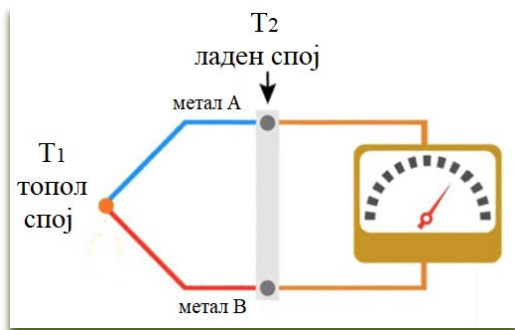
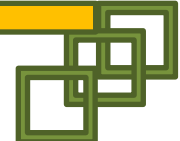


Сл. 5.29: Форми на пиезоелектрични сензори

Поради малите димензии и големата чувствителност, пиезоелектричните сензори се популарен избор за апликации во медицинската индустрија и тие често се користат за мерење на пулсот, се врзуваат за кожата на пациентот и се доволно чувствителни за да го следат пулсот. Тие се користат во стетоскопи и ултразвук, за мерење на ефикасноста на анестезијата и во пејсмејкерите за откривање на нивото на движење и активност на пациентот.

#### 5.4.6 ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИ МЕРНИ ПРЕОБРАЗУВАЧИ

Термоелектричните преобразувачи ја конвертираат топлотната енергија во електрична енергија. Мерената температура се претвора во електричен сигнал како последица на термоелектричниот ефект кој се јавува кај термопар. Термопарот т.н. термодвојка, се состои од две метални жици од различни материјали, споени на едниот крај. Овој спој ја сочинува мерната точка, топлиот спој. Другиот крај се нарекува ладен спој, најчесто на собна температура. Греењето на мерниот спој предизвикува електричен напон, пропорционален на разликата на температурите на топлиот и ладниот спој,  $T_1$  и  $T_2$ . Овој напон се должи на два фактора: различната густина на двата материјали и разликата во температурата помеѓу топлата и ладната точка.



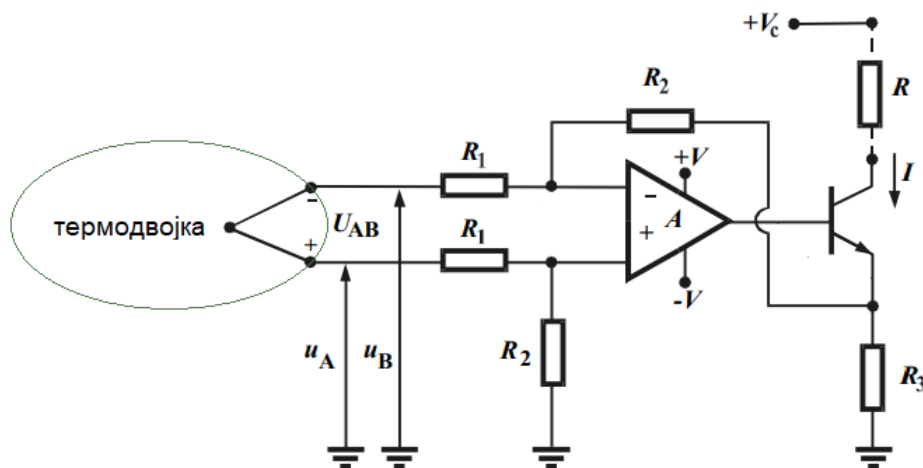
$$U = \alpha(T_1 - T_2)$$

$T_1$  – температура на топлиот спој  
 $T_2$  – температура на ладниот спој  
 $\alpha$  – Зебекова константа.....(5.33)

Сл. 5.30: Термодвојка

Термодвојките најчесто се изработуваат од никел-хром, бакар-константан, железо-константан и легура на никел-алуминиум, а се карактеризираат со широк температурен опсег (од  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и речиси линеарна промена на напонот во зависност од температурата. Се карактеризираат со висока механичка издржливост, едноставна конструкција, голема прецизност, голем опсег на мерење и ниска цена. Точноста на мерењето со користење на термодвојки е во опсег од  $\pm 1\text{-}2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Дополнителна предност е што за термодвојката не е потребно надворешно напојување.

Мерната шема со термодвојка (слика 5.31) се темели на примена на операциски засилувач со големо засилување и голема влезна импеданса, што овозможува директно мерење на електричниот напон  $U_{AB}$ .

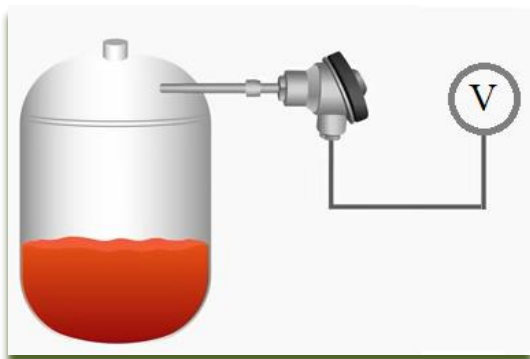


Сл. 5.31: Термодвојка во мерна шема

Зависноста на струјата  $I$  е правопрпорционална со мерениот термонапон  $U_{AB}$ :

$$I = \frac{R_2}{R_1 \cdot R_3} (u_A - u_B) \dots\dots\dots(5.34)$$

На слика 5.32 е прикажан термоелектричен мерен преобразувач за мерење температура во цистерна.



Сл. 5.32: Примена на термодвојка

### 5.4.7 ТЕРМООТПОРНИЧКИ МЕРНИ ПРЕОБРАЗУВАЧИ

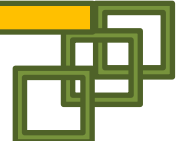


Термоотпорничките давачи, **RTD** „Resistance Temperature Detector“ се изведуваат со метален и со полупроводнички отпорнички елемент. Металниот отпорен елемент се изработува од материјали со стабилен температурен коефициент и со голема специфична отпорност, како платина, никел, волфрам, тантал, бакар, легура на злато и сребро и од други метали. Карактеристиката на зависност на отпорноста од температурата, во голем дел од опсегот, кај овие материјали е линеарна. Таа зависност се дефинира со изразот 5.35:

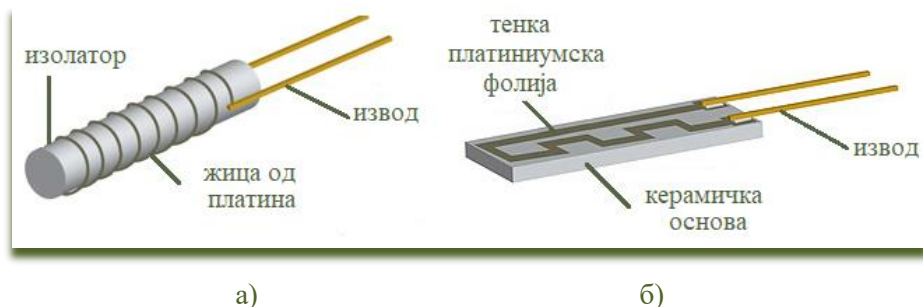
$$R = R_0[(1 + \alpha(T - T_0))]$$

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta T)$$

$T$  – мерена температура  
 $T_0$  – собна температура (300 K)  
 $R_0$  – отпорност при температура  $T_0$   
 $\alpha$  – температурен коефициент.....(5.35)

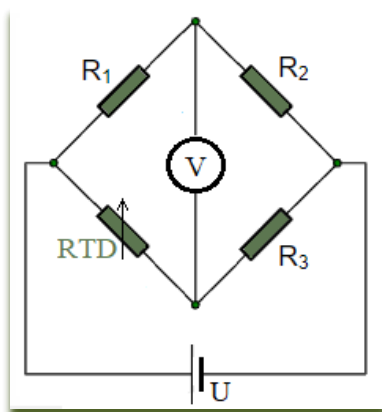


Термоотпорничките давачи се изведуваат со многу тенка жица намотана на изолатор (слика 5.33 а)) или со метална фолија поставена на керамичка основа (слика 5.33 б)).



Сл. 5.33: Термоотпорнички давач а) со жица и б) со метална фолија

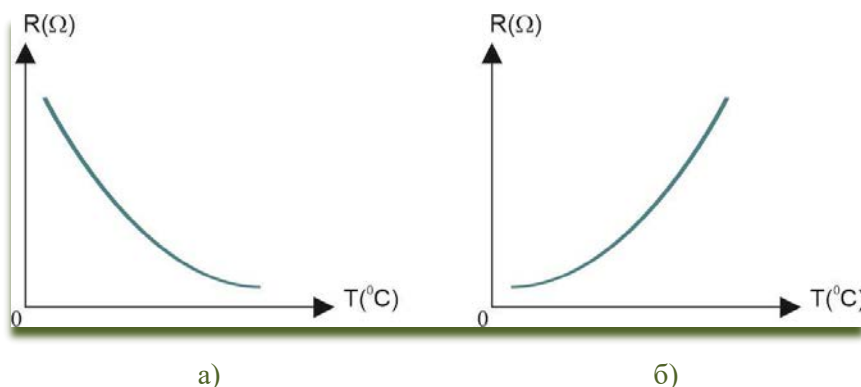
При мерење температура со Витстонов мерен мост трите отпорници  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  треба да имаат нулти температурен коефициент, така што само отпорноста на RTD зависи од температурата. Излезниот напон ќе зависи само од промената на отпорноста на RTD од температурата. Рамнотежата на мостот се постигнува при собна температура (сл.5.34).



Сл. 5.34: Термоотпорник во мерен мост

### 5.4.8 ТЕРМИСТОРИ

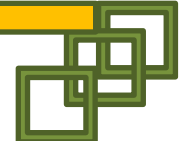
Полупроводничките термоотпорнички преобразувачи, **термисторите** претставуваат група температурно осетливи отпорни елементи, од каде што и потекнува нивниот назив, составен од кратенки на зборовите „термички (*thermal*)“ и „отпор (*resistor*)“. Постојат два вида термистори: NTC и PTC. NTC (*Negative Temperature Coefficient*) се термистори со негативен температурен коефициент, што значи дека нивната отпорност се намалува со зголемување на температурата (слика 5.35 а)).



Сл. 5.35: Карактеристиката на зависност на отпорноста од температурата на  
а) NTC-термистор и б) PTC- термистор

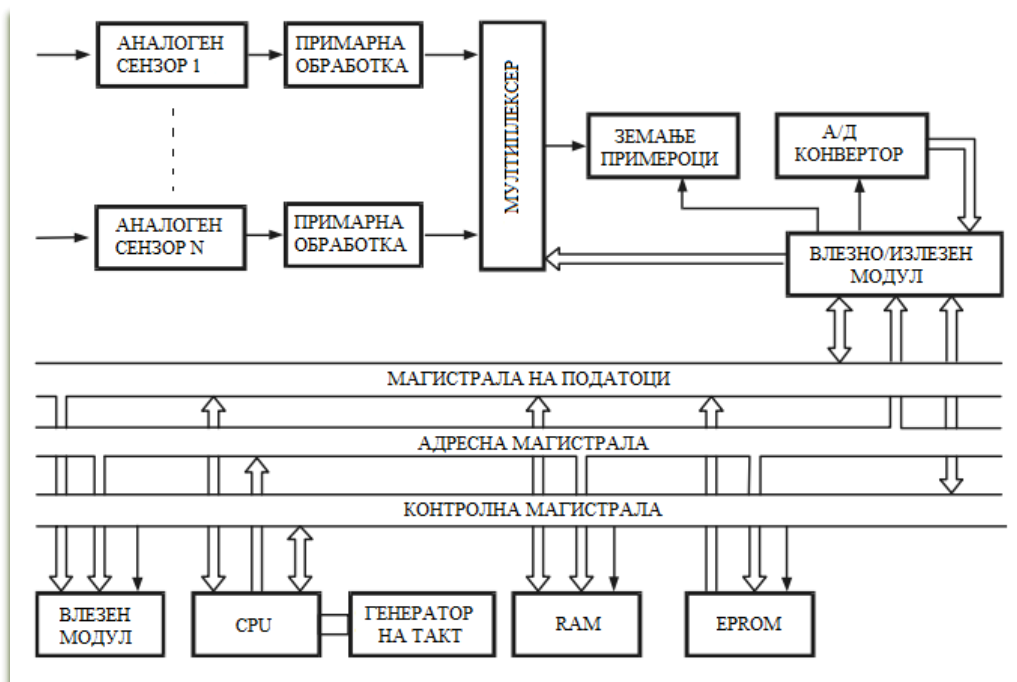
Поради тоа, тие се користат како температурни сензори. PTC (*Positive Temperature Coefficient*) се термистори со позитивен температурен коефициент, при што нивниот отпор се зголемува со зголемување на температурата (слика 5.35 б)). Оваа карактеристика овозможува нивна примена во кола за регулација на електричната струја.

Добрите карактеристики на термисторот се висока чувствителност на температурни промени, мали димензии, голема брзина на одговор, голема отпорност на  $20^{\circ}C$  (од редот од  $10\text{ k}\Omega$  до  $10\text{ M}\Omega$ ), нечувствителност на отпорноста на приклучни водови, стабилност со стареење и ниска цена.



### 5.4.9 ДИГИТАЛНИ МЕРНИ ПРЕОБРАЗУВАЧИ

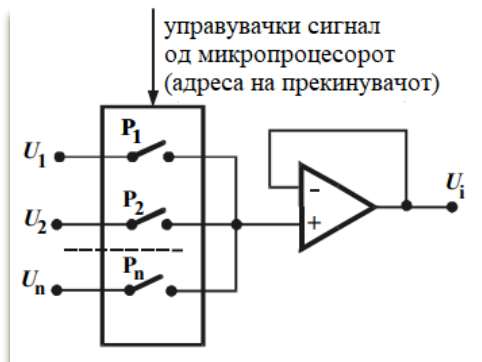
Со дигитален мерен преобразувач аналогната мерна неелектрична големина се конвертира/претвора во дигитална големина. Тој претставува уред кој содржи микроконтролер во кој се обработува мерената големина. Поради тоа, дигиталните сензори во литературата се среќаваат и под името „**паметни сензори**“. Блок-шема на дигитален сензор е прикажана на слика 5.36.



Сл. 5.36: Блок-шема на дигитален мерен преобразувач

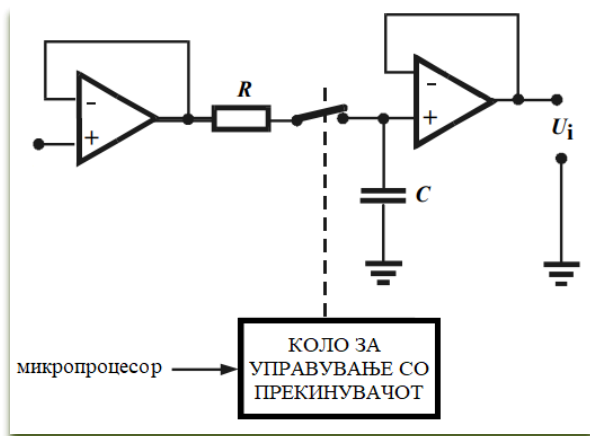
Во аналогните сензори мерената физичка големина се конвертира во електричен сигнал, струја, напон или промена на RLC-параметрите. Во блокот на примарната обработка електричниот сигнал се трансформира за да се нагодат потребните параметри за мултиплексирање, како ниво на сигналот, импеданса, шум и др. Микроконтролерот во еден момент може да прими само еден информациски сигнал. Поради тоа, сигналите од аналогните сензори се пропуштаат еден по еден со помош на мултиплексерот. Секој канал се идентификува со своја адреса која претставува дигитален сигнал на адресната магистрала. Мултиплексерот има улога на сложено прекинувачко коло, комутатор, кој, според зададена

адреса од микроконтролерот, во еден момент, на неговиот излез проследува електричен сигнал од само еден сензор (слика 5.37).



Сл. 5.36: Шема на мултиплексер

Колото за земање примероци претставува електронско прекинувачко коло на чиј излез се проследува влезниот сигнал само во моментот на земање примероци (слика 5.38). Со прекинувачот управува микроконтролерот.



Сл. 5.38: Шема на коло за земање примероци

Микроконтролерот обработува дигитални сигнали. Затоа со А/Д конверторот земените примероци од аналогните сигнали се конвертираат во дигитални еквиваленти, кои се зачувуваат во меморијата на микроконтролерот. На следниот такт од микроконтролерот, мултиплексерот, колото за земање примероци и А/Д конверторот се поставуваат во почетна состојба спремни за прием на следна адреса за селекција на сигнал од друг аналоген сензор.



Дигиталниот сигнал добиен на излез од А/Д конверторот, преку податочната магистрала се обработува во микропроцесорот, односно централно процесорската единица CPU (*Central Processing Unit*) и се зачувува во меморијата на микроконтролерот. Во RAM (*Random Access Memory*) меморијата се сместени програмите и обработените податоци, додека EPROM (*Erasable Programmable Read-Only Memory*) меморијата служи за чување информации со траен карактер, како што се програмските инструкции, константи.

### Научи повеќе\*\*\*

#### \* Од кога датира познавањето на пиезоелектричната појава?

На познавањето на пиезоелектричниот ефект му претходи откривањето на пироелектричниот ефект во средината на 18 век, со кој во одредени материјали со кристална структура се јавува електричен потенцијал, како резултат на промена на температурата на материјалот. Врз основа на овие познавања започнува утврдувањето на зависноста на механичкиот потрес и електричниот товар од страна на Рене (Rene Just Haüy) и Бекерел (Antoine Cesar Becquerel), но нивните експерименти не резултирале во конкретни заклучоци.

Првата демонстрација на директниот пиезоелектричен ефект е направена 1880 година од страна на браќата Пиер и Жак Кири (Pierre et Jacques Curie). Тие утврдуваат дека најдобри резултати се добиваат со кристалот на кварц. Но, тие не успеале да предвидат дека ефектот е реверзибилен. Тоа го прави Липман (Gabriel Lippman) во 1881 година, со математичка дедукција од основните термодинамички принципи, што браќата Кири и го потврдуваат со квантитативни докази.

Во следните неколку декади пиезоелектрицитетот останува само во областа на лабораториските анализи. 1910 година, Војт (Holdemar Voight) објавува книга во која опишува 20 вида природни кристали со пиезоелектрична способност.

Првата практична примена на пиезоелектричниот ефект е направена во 1917 година за време на Првата светска војна. Направен е уред, наречен сонар, кој служи како подводен ултразвучен детектор. Уредот е направен од тенки кристали на кварц, залепени меѓу две челични плочи, што претставува

пиезоелектричен претворувач, хидрофон, уред кој ги детектира повратните ехо-сигнали. Со претворувачот се емитуваат високофреквенциски импулсни сигнали кои се одбиваат од подводни објекти и се детектираат со хидрофонот. Со мерење на времето меѓу емитуваниот и вратениот сигнал може да се пресмета оддалеченоста на објектот.

Почнувајќи од тој момент, се пројавува голем интерес за развојот на пиезоелектричните уреди. Се откриваат и нови пиезоелектрични материјали и нови методи на нивната употреба. Една од најмасовните примени во тој период се јавува кај кристалните звучници (игли) за репродукција на грамофонски плочи. Развојот на ултразвучните претворувачи овозможува лесно мерење вискозност и еластичност на цврсти и течни материјали, а ултразвучните рефлектометри се користат за откривање дефекти во метални структури, со што се подобрува квалитетот при заварување на разни конструкции.

За време на Втората светска војна се развива нова класа материјали, наречени фероелектрични, со подобри карактеристики од природните пиезоелектрични материјали. Меѓу нив се материјалите од бариум титанат и оловен цирконит титанат. Од 1950 година започнува нивната поширока индустриска примена.



- Мерните уреди кои прибираат информации за физичката големина од процесот и генерираат мерен сигнал се нарекуваат мерни преобразувачи.
- Потенциометарските преобразувачи претставуваат отпорници со променлива отпорност со лизгачки или ротирачки контакт со кој се формира напонски делител.
- Електроотпорнички тензометар претставува сензор за механичка деформација.
- Принципот на работа на тензометарот се базира на промена на електричната отпорност на спроводник/полупроводник во зависност од промената на должината.
- Индуктивните преобразувачи се применуваат за мерење поместување, забрзување, сила, притисок.



- Капацитивните сензори претставуваат мерачи на капацитивност на кондензатор која се менува под дејство на неелектрична големина.
- Пиезоелектрични сензори се уреди за детекција на промена на притисок.
- Термоелектричните преобразувачи ја конвертираат топлотната енергија во електрична енергија.
- Полупроводничките термоотпорнички преобразувачи термисторите претставуваат група температурно осетливи отпорни елементи.
- Со дигитален мерен преобразувач аналогната мерна неелектрична големина се конвертира/претвора во дигитална големина.

## Прашања за утврдување на знаењата од модуларна единица 5



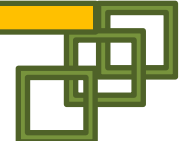
1. Дефинирај го поимот мерен преобразувач.
2. Нацртај Томсонов мост и запиши ги изразите за пресметување на непознатата отпорност.
3. За што се користи тензометар?
4. Како гласат изразите за пресметување на непознатиот отпор и индуктивноста преку Максвел-Виновиот мост?
5. Зошто се користат мерните мостови?
6. Кои големини најчесто се мерат со мерни мостови?
7. Во кој случај велиме дека мостот е во рамнотежа?
8. Која големина се мери со Витстонов мост?
9. Кој мост се користи како индиректна метода за мерење индуктивност?
10. Кои преобразувачи претставуваат отпорници со променлива отпорност со лизгачки или ротирачки контакт со кои се формира напонски делител?
11. Кои преобразувачи ја конвертираат топлотната енергија во електрична енергија?
12. Со кој мерен мост се мери непозната капацитивност на кондензатор?

## ТЕМАТСКО УТВРДУВАЊЕ



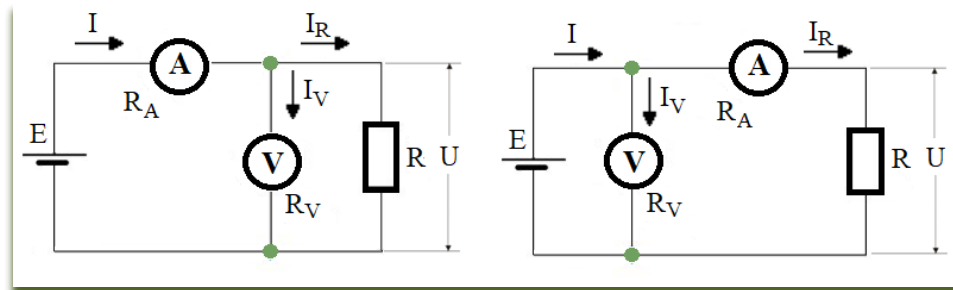
### I Прашања со заокружување (Заокружи ги точните одговори)

1. Пиезоелектричните сензори се уреди за мерење промена на:
  - A) притисок
  - B) температура
  - B) отпорност
2. За да се намали потрошувачката на волтметарот, неговата внатрешна отпорност  $R_V$  треба да биде што е можно:
  - A) помала
  - B) поголема
3. Мерење јачина на струја со компензатор претставува:
  - A) индиректно мерење
  - B) директно мерење
4. Максвел-Винов мост се користи за мерење:
  - A) индуктивност на калем
  - B) капацитивност на кондензатор
5. Зависноста на излезната големина, индуктивноста  $L$  од влезната, поместувањето  $x$  во преносната карактеристика на индуктивниот преобразувач е:
  - A) право пропорционална
  - B) обратно пропорционална
6. Мерење електрична големина со компензатор претставува:
  - A) индиректно мерење
  - B) директно мерење



## II Прашања со поврзување

1. На сликата се прикажани поврзувања на инструменти за мерење непознат отпор. Поврзи ги шемите со нивните називи.



А)

Б)

1. Напонска шема \_\_\_\_\_
  2. Струјна шема \_\_\_\_\_
2. Поврзи ги мерните мостови со мерната големина.
- |                       |                        |
|-----------------------|------------------------|
| 1. Максвел-Винов мост | А) отпорност _____     |
| 2. Томсонов мост      | Б) индуктивност _____  |
| 3. Шерингов           | В) капацитивност _____ |

## III Прашања со дополнување

1. \_\_\_\_\_ преобразувачи ја конвертираат топлотната енергија во електрична енергија.
2. Кога на тензометарот дејствува сила во насока на компресија, се \_\_\_\_\_ должината на спроводникот што ќе доведе и до \_\_\_\_\_ на неговата електрична отпорност.
3. Во паметните сензори со А/Д конвертор земените примероци од \_\_\_\_\_ сигнали се конвертираат во \_\_\_\_\_ сигнали.
4. Греењето на топлиот, мерен спој на термодвојката предизвикува индуцирање на \_\_\_\_\_, пропорционален на разликата на температурите на топлиот и ладниот спој.

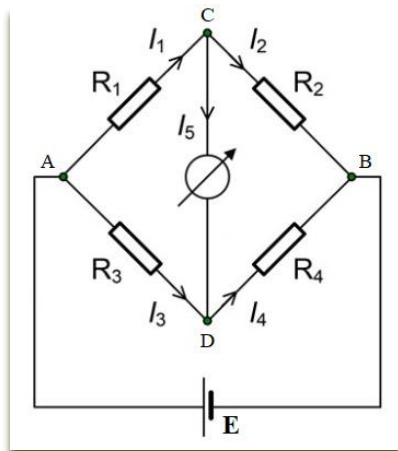


## ЗАДАЧИ

1. На сликата е дадена електрична шема на Витстонов мост за мерење отпорност. Да се пресмета отпорноста во гранката AD ( $R_3$ ) во моментот кога мостот е во рамнотежа. Запиши го условот за рамнотежа. Колку ќе изнесува струјата низ нулидикаторот  $I_5$ ?  
 $R_1=R_2=1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_4=0,1 \text{ k}\Omega$

Решение:

$$R_3 = R_1 \cdot \frac{R_4}{R_2} = 0,1 \text{ k}\Omega, I_5 = 0A$$

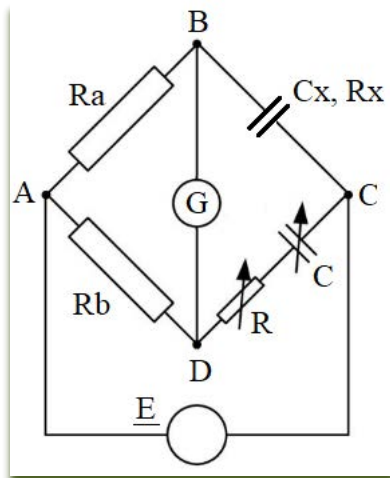



2. Со Винов мост прикажан на сликата се мерат параметрите  $R_X$  и  $C_X$  на реален кондензатор. Изведи го изразот за параметрите  $R_X$  и  $C_X$  во услов на рамнотежа на мостот. За дадените вредности  $R_a=1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_b=0,1 \text{ k}\Omega$ ,  $R=1,2 \text{ k}\Omega$ ,  $C=0,1 \text{ pF}$  да се пресметаат непознатите параметри.

Решение:

$$R_X = R \cdot \frac{R_a}{R_b} = 12 \text{ k}\Omega$$


$$C_X = C \cdot \frac{R_a}{R_b} = 1 \text{ pF}$$





## **6. МЕРНИ УРЕДИ ЗА КОНТРОЛА НА ЕЛЕКТРИЧНИ И КОМУНИКАЦИСКИ ИНСТАЛАЦИИ**

Со изучување на содржините од оваа модуларна единица ученикот ќе научи да:

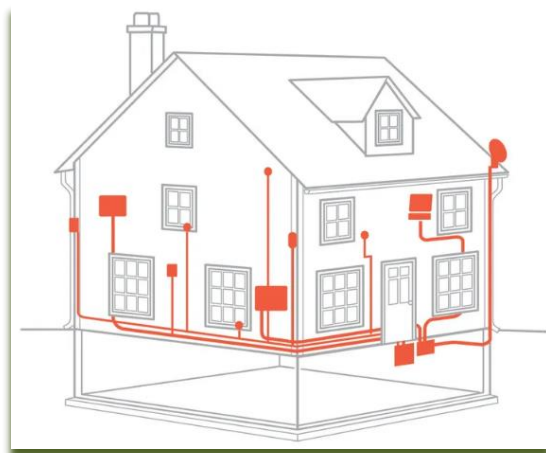
- испитува електрични инсталации;
  - мери карактеристики на електрични инсталации;
  - споредува измерени и пропишани вредности;
  - постапува во согласност со барањата за примена на прописите и МКС стандардите за заштита на околината и заштита при работа.
- 





## 6.1 ЕЛЕКТРИЧНИ ИНСТАЛАЦИИ

Електрична инсталација е збир од поставени спроводници, заедно со материјалот неопходен за приклучување неподвижни и преносни електрични потрошувачи на електрична енергија, слика 6.1. Таа е дел од преносниот систем, од местото на приклучокот на нисконапонската мрежа до потрошувачот.



Сл. 6.1: Електрична инсталација во станбен објект

Електричните инсталации се изведуваат во различни видови објекти: станбени, деловни, индустриски, на градилишта итн.

Според висината на **номиналниот напон**, електричните инсталации се делат да:

1. **Инсталации за низок напон**, со напон  $U \leq 1000 \text{ V}$ . Во овие инсталации може да се појават струи кои се опасни по животот на човекот и задолжително мора да имаат заштита од напон на допир. Тоа се инсталации за електрично осветлување, за електромоторен погон, за топлински потрошувачи, итн. Се нарекуваат нисконапонски електрични инсталации или инсталации за јака струја.
2. **Инсталации за мал напон**, со напон  $U \leq 50 \text{ V}$ . Во овие инсталации не може да се појават струи кои се опасни по животот на човекот. Тоа се телекомуникациски, сигнални, антенски инсталации, итн. Се нарекуваат и малонапонски или инсталации за слаба струја.

Според **намената**, постојат следните видови на инсталации:

- **Електроенергетски** инсталации – овозможуваат напојување на електричните потрошувачи со електрична енергија;
- **Громобрански** инсталации – се поставуваат со цел да се заштитат луѓето и објектите од штетното влијание на атмосферското електрично празнење;
- **Телекомуникациски** инсталации – овозможуваат пренос на податоци. Постојат следните видови на телекомуникациски инсталации: телефонски инсталации, инсталации на интерфон, инсталации на антенски системи, инсталации за телевизија и интернет, инсталации за разглас итн.
- **Сигнални** инсталации – тоа се инсталации за електрично свонче, инсталации за противпожарен систем, инсталации за повикување во хотели и болници, итн.

Сигналните и телекомуникациските инсталации се сродни и со развојот на техниката речиси е извршено и нивно обединување. Електроенергетските и громобранските инсталации спаѓаат во т.н. инсталации за јака струја, а телекомуникациските и сигналните инсталации се вбројуваат во инсталации за слаба струја.

Електрична инсталација претставува збир од елементи кои служат за приклучување електрични уреди во електрична мрежа. Основни **елементи на електрична инсталација** се:

- Водови, кабли и кабелски прибор;
- Елементи за приклучок на градска мрежа;
- Громобранска инсталација;
- Разводна табла;
- Електрично броило;
- Осигурувачи;
- Скопки и прекинувачи;
- Инсталациски цевки и прибор за водови;
- Втичници;
- Приклучоци;
- Приклучоци за светилки.



## 6.1.1 СТАНДАРДИ И ПРОПИСИ ЗА ЕЛЕКТРИЧНИ ИНСТАЛАЦИИ

При изработка на проектите и техничката документација за електрична инсталација, мора да се применуваат стандардите и прописите кои се во сила за оваа област, а кои се дефинираат со закон.

**Стандард** е документ со кој се утврдуваат правилата, насоките и карактеристиките на активностите во одредена област.

**Технички прописи** се мерки и услови кои мора да се применуваат при избор на елементи и изведба на електричните инсталации.

За електротехниката е надлежна Меѓународната електротехничка комисија **IEC** (*International Electrotechnical Commission*) со седиште во Женева. Таа ги донесува сите прописи и стандарди, кои во форма на препораки се однесуваат на земјите што членуваат во неа.

Во нашата држава стандардите се со ознаката **МКС** и посебна буква за секоја гранка од индустријата. За електротехниката се користи буквата **Н**, а втората буква ја дефинира подгрупата во електротехниката на следниот начин:

А – општи и основни стандарди;

Б – производство, пренос и дистрибуција на електрична енергија;

Ц – електрични спроводници;

Е – материјали за електрични спроводници;

Ф – материјали за воздушни и подземни водови за низок и висок напон;

Л – светилки и расветни тела;

Н – електрични производи за домаќинство;

Т – телеграф, телефон и сигнални апарати;

П – електрични апарати за возила.

Поважни стандарди за областа електрични и телекомуникациски инсталации се:

- МКС.Н.Б2.702 Електрични инсталации во згради; Номинални напони;
- МКС.Н.Б2.741 Барања за сигурност; Заштита од индиректен напон;
- МКС.Н.Б2.743 Заштита од прекумерни струи;
- МКС.Н.Б2.752 Електричен развод; Трајно дозволени струи;

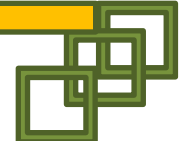
- МКС.Н.Ц0.006 Означување изолирани спроводници и кабли;
- МКС.Н.Ц0.015 Номинални пресеци и конструкција на спроводници и кабли.

Основни правила кои мора да се почитуваат при изведба на електрична инсталација се:

- инсталацијата не смее да е опасна за корисниците;
- мора да е издржлива на механички оштетувања, влага, прашина и хемикалии;
- на сите уреди треба да им обезбеди напојување со електрична енергија со пропишан напон и фреквенција;
- да е релативно евтина, а, исто така, и во иднина да овозможува без поголеми трошоци да може да се зголемува бројот на приклучени уреди.

## **6.1.2 МЕРНИ УРЕДИ ЗА КОНТРОЛА НА ЕЛЕКТРИЧНИ ИНСТАЛАЦИИ**

Ризиците поврзани со неправилна употреба на електрична енергија може да вклучуваат: опасност по животот на луѓето, оштетување на електрични инсталации и имот, штетни ефекти врз работата на системите и животниот век на опремата. Значи, целта на тестирањето на електричната инсталација е првенствено да се осигура дека луѓето и стоките се чуваат безбедно и се заштитени во случај на дефект. Исто така, го олеснува превентивното одржување на инсталациите, спречувајќи сериозни дефекти кои може да се покажат скапи (прекин на производство, итн.). За да се гарантира безбедноста на луѓето во однос на овие инсталации и електричната опрема поврзана со нив, потребно е строго придржување до пропишаните стандарди. Стандардот ИЕС 60364 и неговите различни национални еквиваленти објавени во секоја европска земја ги специфицираат барањата во врска со електричните инсталации во зградите. Ефективноста на инсталациите може да се гарантира само ако редовните тестови докажат дека тие работат правилно. Ова е причината зошто стандардите ги опфаќаат не само првичните проверки кога инсталациите се пуштаат во употреба, туку и периодичните тестирања чија фреквенција зависи од видот на инсталацијата и опремата, нејзината употреба и



законодавството во земјата. Дополнително, тестовите мора да се вршат со мерни инструменти кои се усогласени со европскиот стандард IEC 61-557, со што се обезбедува безбедност на корисникот и сигурни мерења.

Електричното тестирање е поделено на два дела:

- **Визуелна проверка** за да се гарантира дека инсталацијата е во согласност со безбедносните барања (присуство на електрода за заземјување, заштитни уреди итн.) и не покажува видливи докази за оштетување.
- **Мерења** – Потребни се четири главни мерења: на заземјување, на изолација, за непрекинатост и тестови на заштитни уреди.

### 6.1.2.1 ПОВЕЌЕНАМЕНСКИ (МУЛТИФУНКЦИСКИ) ТЕСТЕРИ

За безбедно и ефикасно мерење и контрола на електричните инсталации се користат **повеќенаменски** или **мултифункционални тестери** на нисконапонски кола. Тие извршуваат повеќе процедури и мерење повеќе параметри. На пример, проверка на правилно инсталирање на опремата во комерцијални, домашни или индустриски објекти, според пропишаните безбедносни стандарди и прописи.

Мултифункционалните тестери (MFT- multi-function tester), слика 6.2, се користат за мерење и тестирање електрични параметри како што се: напон, отпорност на заземјување, импеданса на јамка, итн. Голем број од уредите имаат и дополнителни карактеристики, како, на пример, Bluetooth, кој овозможува пренос и складирање податоци од мерниот уред до компјутер или до некој друг мобилен уред. Познати производители на вакви мултифункционални тестери се: Fluke, Metrel, Megger, Gossen Metrawatt, RS PRO, Martindale, итн.



Сл. 6.2: Мултифункционални тестери (Metrel и Fluke)

Тестерите се делат и се нарекуваат на повеќе начини, но најчесто се користат називите „електрични тестери“ и „мултифункционални тестери за инсталации“. И покрај тоа, тие се користат за извршување исти или слични мерења. Се користат за мерења и тестирања од типот:

- непрекинатост на изолација;
- проверка на работата на приклучените заштитни уреди кои се наменети за брзо прекинување со цел да се спречи електричен шок или истекување струја, што може да предизвика пожар или ред други опасни ситуации;
- тестирање јамка е брз, едноставен и специфичен метод на евалуација на способноста на електричната инсталација да ги активира заштитните елементи и уреди;
- мерење отпорност на заземјување – низа од верификациски тестови кои обезбедуваат заштита на луѓето, опремата и објектот.

Постојат и мерни уреди-тестери кои се со поединечни функции, односно мерат одделни карактеристики на инсталациите.

### 6.1.2.2 ТЕСТЕР ЗА НЕПРЕКИНАТОСТ



**Тестер за непрекинатост** (слика 6.3) е мерен уред за електрично тестирање на електричната патека помеѓу две дадени точки. Доколку се најде електрична струја, колото на кое се тестира може безбедно да се исклучи пред да се поврзе со која било друга опрема.

Сл. 6.3: Тестер за непрекинатост (Martindale)

### 6.1.2.3 ТЕСТЕРИ ЗА ЗАЗЕМЈУВАЊЕ И ОТПОРНОСТ НА ЗАЗЕМЈУВАЊЕ

**Тестерите за заземјување и отпорност на заземјување** (слика 6.4) се основни електрични мерни уреди кои се користат за да се обезбеди пропишаната отпорност на заземјување на апаратите и опремата. Мерачите за заземјување и заземјувањето се од витално значење за да се обезбеди патот до земјата, во случај на прекумерен напон или удар на гром.



Сл. 6.4: Тестери за заземјување (Megger и Kyoritsu)

#### 6.1.2.4 ТЕСТЕРИ ЗА ИМПЕДАНСА НА ЈАМКА И ЗАШТИТЕН УРЕД

Тестерите за импеданса на јамка и заштитни уреди можат да работат заедно, односно заштитниот уред е способен да го прекине електричното коло пред да предизвика штета, а тестерот за јамка е брз и специфичен уред за проценка на електричното коло за неговата способност да ги вклучи заштитните уреди (прекинувачи, осигурувачи, итн).



Сл. 6.5 Тестер за импеданса на јамка (Megger)

**Тестер за импеданса на јамка –** Најважна причина за тестирање на импедансата на јамката за заземјување е да се потврди дека ако се појави дефект во електричната инсталација ќе тече доволна струја за да работи осигурувачот или прекинувачот, кој го штити неисправното коло во однапред одредено време. Целта е да се осигура дека колото е доволно брзо исклучено за да се спречи прегревање или, евентуално, пожар.

**Тестер за заштитни уреди –** Заштитните уреди за електричните инсталации се уреди кои автоматски се отвораат, како одговор на преостанатата струја која е еднаква или поголема од номиналната работна струја за дадениот уред.

Сл. 6.6: Тестер за заштитни уреди (Kyoritsu)



### 6.1.2.5 ТЕСТЕР ЗА НАПОН

**Тестерите на напон** (слика 6.7) се уреди со два пола, кои брзо и јасно покажуваат дали колото е поврзано на напон. Тие со помош на конектор се приклучуваат на линијата за напојување. Тестерите и индикаторите за напон имаат повеќе функции на екранот, како што се LED светла и звучни сигнали, за да предупредат кога е присутен напон. Некои тестери за напон може да прикажуваат и на LCD екран, со што го информираат корисникот дека линијата е напојувана и дека мора да се исклучи пред работа.



Сл. 6.7: Тестер за напон (Fluke) и тестер за напон и непрекинатост (RS PRO)

### 6.1.2.6 ТЕСТЕРИ ЗА ИЗОЛАЦИЈА И НЕПРЕКИНАТОСТ



Сл. 6.8: Тестер за изолација и непрекинатост (Megger)

**Тестерите за изолација и непрекинатост** се користат за тестирање трансформатори, мотори, генератори, разводни табли, итн. Се користат и за тестирање домашни апарати, електрични алати и фиксни системи за електрични инсталации.



### **6.1.3 ИСПИТУВАЊЕ ИСПРАВНОСТ НА ЕЛЕКТРИЧНА ИНСТАЛАЦИЈА**

За да се провери исправноста и функционалноста на електричната инсталација, потребно е таа да се прегледа и испита. Со преглед се проверува:

- Заштита од електричен удар, вклучувајќи мерење растојание кај заштитните прегради или куќишта или поставување на опремата надвор од дофат на рака;
- Заштитни мерки од ширење оган и топлинско влијание на спроводниците во однос на трајно дозволените вредности на струите и дозволениот пад на напон;
- Избор и нагодување на заштитните уреди и уредите за надзор;
- Исправност на поставувањето на соодветни прекинувачки уреди;
- Избор на опрема во однос на заштитата од надворешни влијанија;
- Распознавање на неутралниот и заштитниот спроводник;
- Постојење соодветна документација, плочки со предупредувања и слични информации;
- Распознавање струјни кола, осигурувачи, склопки, приклучни места и друга опрема;
- Спојување на спроводниците и пристапност и расположивост на просторот за работа и одржување.

Испитувањата се вршат според следниот редослед:

1. проверка на непрекинатоста на заштитниот спроводник и главниот и дополнителниот спроводник за изедначување на потенцијалот,
2. проверка на изолациската отпорност на електричната инсталација,
3. електрично раздвојување на струјните кругови,
4. проверка на отпорноста на подот и сидовите на објектот и
5. проверка на функционалност.

### **6.1.3.1 ПРЕГЛЕД НА ИНСТАЛАЦИЈА ВО ТЕК НА ИЗВЕДУВАЊЕ НА РАБОТИТЕ**

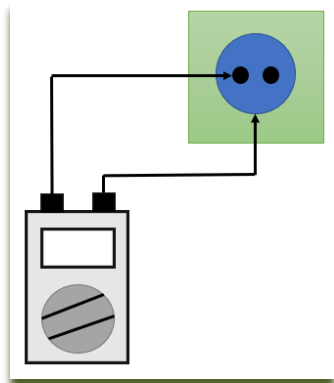
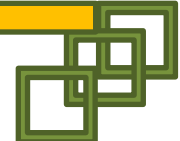
Во тек на изведба на инсталацијата, додека не е извршено нејзиното покривање, се врши преглед на видот и квалитетот на поставените кабли, проверка на поставувањето на каблите под прави агли и на пропишаната оддалеченост од таван, под, агли, прозорци и врата и проверка на поставеноста на каблите во согласност со проектот.

### **6.1.3.2 ИСПИТУВАЊЕ ОСВЕТЛУВАЊЕ**

При испитување на осветлувањето треба да се провери дали се поставени сите светлечки тела и склопки во согласност со проектот, земајќи го предвид пропишаното ниво на заштита од надворешни влијанија, да се провери функционалноста на сите прекинувачи и светилки, висината на поставените прекинувачи (105 cm), да се провери дали на прекинувачот се донесени фазните спроводници (прекинувачите мора да овозможат безнапонска состојба на светилките), да се измери осветленоста и да се провери дали се исполнети барањата на проектот и да се провери дали работи светлото за паника при исклучување на напојувањето.

### **6.1.3.3 ИСПИТУВАЊЕ ПРИКЛУЧНИЦИ**

При испитување на приклучниците треба да се провери дали се поставени сите приклучници во согласност со проектот, да се провери дали приклучниците се на пропишаната висина од подот (30 cm, 115 cm, 150 cm) и дали имаат соодветно ниво на заштита од надворешни влијанија, а во бањата дали приклучниците се на минимална оддалеченост 60 cm од кадата, да се провери дали заштитниот РЕ спроводник е споен на заштитните контакти, да се провери пресекот на кабелот на кој е поврзана приклучницата и бојата на спроводникот, да се измери отпорот на струјниот круг на грешка на приклучницата и да се измери напонот.



Отпорноста на кругот на грешка се мери со методата на познат предотпор со инструмент – **тест мерач** кој се спојува помеѓу фазата и заштитниот контакт на приклучницата, како на слика 6.9.

Слика 6.9: Мерење отпорност на круг на грешка

#### 6.1.3.4 ИСПИТУВАЊЕ РАЗВОДНА ТАБЛА

При испитување на разводната табла треба да се провери дали се означени струјните кругови и елементите, дали таблата е изведена во согласност со проектот, да се измери отпорноста на изолација со мегаомметар, дали се поставени главните осигурувачи, доколку таблата е од метал, да се измери и отпорноста на заземјување, вклучувајќи ја и отпорноста на заземјување на вратата, да се проверат дали се поставени натписните плочки, да се провери дали е поставена еднополната шема и да се проверат воздушните растојанија на неизолираните делови под напон.

#### 6.1.3.5 ИСПИТУВАЊЕ ЗАШТИТА СО АВТОМАТСКО ИСКЛУЧУВАЊЕ НА НАПОЈУВАЊЕ СО МЕРЕЊЕ НА ОТПОРНОСТ НА ЈАМКА

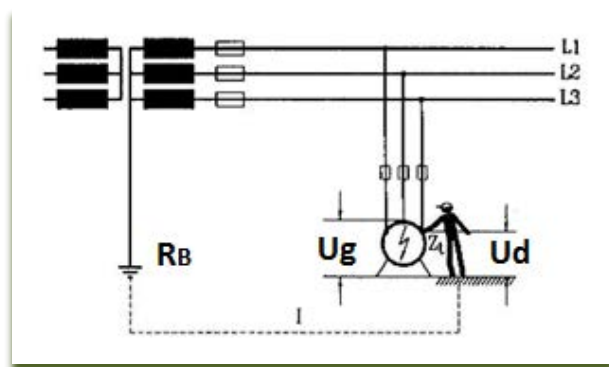
Отпорноста на кругот на јамка ги вклучува отпорностите на фазниот спроводник и заштитните спроводници во рамки на електричната инсталација за низок напон. Најголеми вредности ќе се добијат во точките кои се најоддалечени од објектот, односно дистрибутивната трафостаница од која електричната инсталација за низок напон се снабдува со електрична енергија, бидејќи спроводниците со кои се поврзани се најдолги.

Мерењето во рамки на инсталацијата ќе ја даде целосната отпорност, односно импедансата на кругот на јамка на инсталационата мрежа ( $Z_S$ ), или на отпорноста, односно импедансата на кругот на јамка надвор од инсталацијата ( $Z_I$ ).

### 6.1.3.6 ИСПИТУВАЊЕ НАПОН НА ДОПИР ПРИ ПОТЕНЦИЈАЛНА СТРУЈА НА КУСА ВРСКА

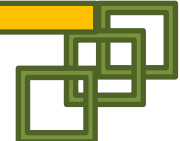
Напон на допир при потенцијална струја на куса врска ( $U_d$ ) се дефинира како напон кој произлегува од ненормални состојби во електроенергетскиот систем, кој може да биде присутен помеѓу две спроводни површини кои можат да бидат истовремено допрени од луѓето и животните. Исто така, овој напон може да се појави и при влошување на изолацијата на подземните и надземните дистрибутивни кабли, или кога каблите и спроводниците се оштетени од топлина, вода или абразија. Напонот на допир не е поврзан со нормалното работење на електроенергетскиот систем и може да постои на нивоа кои можат да бидат опасни по човечкиот живот.

Напонот на допир при потенцијална струја на куса врска може да поприми највисоки вредности на фазниот напон на спроводникот ако кусата врска со занемарлива импеданса е создадена или се појавила на приклучната клема на електричниот потрошувач, а другиот истовремено достапен пристапен спроводен дел има директен спој со земјата.



Сл. 6.10: Електрични напони при потенцијална струја на куса врска при работа на електромоторни погони

$U_g$  е напон при потенцијална струја на куса врска кој претставува потенцијална разлика помеѓу големината на потенцијалот на куќиштето на електромоторот спрема потенцијалот на земјата, слика 6.10.



### 6.1.3.7 ИСПИТУВАЊЕ ЗАШТИТЕН УРЕД СО ДИФЕРЕНЦИЈАЛНА СТРУЈА (RCD)

Заштитниот уред со диференцијална струја - RCD (*Residual Current Device*) се користи за автоматско исклучување на напојувањето при директен допир на деловите под напон или при грешка на потрошувачот и појава на индиректен напон. Исклучувањето е за 0,04 секунди.

Овој вид на прекинувач работи врз основа на принципот – моментните вредности на струите во еден трифазен систем се еднакви на нула, па и збирот од нивните магнетни флу克斯ови треба да е нула. Напојните спроводници се примарни намотки, околу кои се поставува магнетното коло и секундарните намотки. Ако настане спој на некоја од фазите со куќиштето на апаратот, низ таа фаза протекнува поголема струја, што ја нарушува рамнотежата, односно збирот од струите веќе нема да е нула. Тогаш, во секундарната намотка се индуцира напон, кој ги исклучува сите контакти на прекинувачот. Споменатата струјна разлика мора да се прелее во земјата како струја на истекување (преку изолацијата или капацитивната спојка) или како струја на кратка врска или доземен спој – преку неисправната изолација или делумно (или вкупно) преку кратка врска помеѓу спроводните делови и достапните спроводни делови.

При употреба на овој прекинувач во електричните инсталации сите метални делови кои не треба да се под напон мора да се поврзат со заштитен спроводник кој не минува низ заштитниот струен прекинувач. Неутралниот спроводник по заштитниот струен прекинувач не смее да е заземјен или во допир со заштитниот спроводник.

За ефикасна заштита од овој уред, металното куќиште на електричниот апарат треба да е заземјено и отпорноста на заземјувањето треба да биде:

$$R_z \leq \frac{50 V}{I_{\Delta N}} \dots\dots\dots(6.1)$$

каде  $R_z$  е отпорност на заземјувањето,  $I_{\Delta N}$  е струја на грешка при која заштитниот струен прекинувач реагира, а 50 V е најголемиот дозволен напон на допир.

На предната страна од заштитниот струен прекинувач мора да има вградено **контролно копче** за испитување на неговата исправност, слика 6.11. По правило, треба најмалку еднаш годишно да се врши проверка на исправноста.



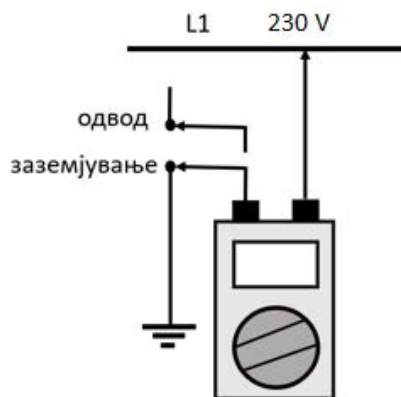
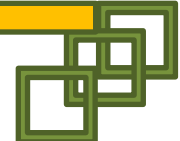
Сл. 6.11: RCD склопки (ETI и Schneider)

За да се провери исправноста на заштитните уреди, како што се осигурувачите или прекинувачите, се врши мерење на импедансата на јамката на дефект за да се пресмета соодветната струја на куса врска. Заштитните уреди може да се тестираат со користење на две методи: основен тест, кој се нарекува и пулсен тест и кој го одредува времето (во милисекунди); и степ (чекорен) тест, кој ги одредува времето и струјата, со што се открива стареењето на заштитните уреди.

### 6.1.3.8 ИСПИТУВАЊЕ ГРОМОБРАНСКА ИНСТАЛАЦИЈА

При испитување на громобранската инсталација е потребно да се провери дали инсталацијата е изведена според проектот, да се измери отпорноста на заземјување на сите споеви, со мерење да се провери дали спуштачките спроводници (одводи) се споени на фаќачите и да се провери дали на громобранската инсталација се споени сите метални површини поголеми од  $2 \text{ m}^2$  (олуци, цевки, вентилациски канали итн).

Отпорноста на заземјување се мери на разделниот спој. При мерењето, заземјувањето се одвојува од одводите на мерниот разделен спој. Потоа со **тест мерач** се мери отпорноста. Тест мерачот се поврзува на фазниот спроводник и заземјување, како на слика 6.12.



Слика 6.12: Мерење отпорност на заземјување

Покрај мерење отпорност на заземјување на заземјувачите, се врши проверка и на отпорноста на заземјување на одводот, што претставува проверка на квалитетот на поврзувањето на одводите со громобранската инсталација, односно на секој спој се вршат по две мерења.

## 6.1.4 МЕРЕЊЕ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ЕЛЕКТРИЧНА ИНСТАЛАЦИЈА

Под мерење карактеристики на електрична инсталација, најчесто се подразбира:

- мерење на отпорност на заземјување,
- мерење непрекинатост на заштитен спроводник, и
- мерење на изолација.

### 6.1.4.1 МЕРЕЊЕ ОТПОРНОСТ НА ЗАЗЕМЈУВАЊЕ

Заземјувањето за електричната инсталација е многу значајно поради следните причини:

- Сите делови на електричната опрема, како што се куќиштата на машините, куќиштата на прекинувачите, резервоарите на трансформаторите мора да бидат поврзани со сондата за заземјување. Тоа се прави со цел различни делови на инсталацијата и лицата кои таму работат да се заштитат од оштетување, во случај кога изолацијата на системот не обезбедува доволна заштита во некоја точка.

- Со поврзување на овие делови со заземјена сонда се обезбедува континуирана патека со мала отпорност, за струите на истекувањето да се движат кон земјата. Оваа струја управува со заштитните уреди и на тој начин неисправното коло ќе се изолира, доколку се појави дефект.

- Заземјувачот (сондата за заземјување) обезбедува во случај на пренапон на системот, поради атмосферски празнења или други дефекти на системот, оние делови од опремата кои вообичаено не се под напон да дојдат на опасно висок потенцијал.

- Во трифазните кола неутралниот спроводник на системот се заземјува со цел да се стабилизира потенцијалот на колото во однос на заземјувањето.

Заземјувачот е ефикасен сè додека има мала отпорност кон земјата и ги носи големите струи без да се влошат неговите карактеристики.

Бидејќи е тешко да се измери количината на струјата што заземјувачот ја спроведува, вредноста на отпорноста на заземјувањето се зема како доволно сигурен показател за нејзината ефикасност. Отпорноста на заземјувачот треба да дава добра заштита и мора редовно да се мери.

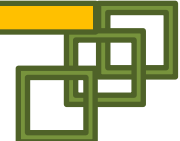
Главни фактори од кои зависи отпорноста на секој систем за заземјување се:

- Формата и материјалот на заземјувачката сонда;
- Длабочината на која се поставени сондите во почвата;
- Специфичната отпорност на почвата и на околината на сондите.

Специфичната отпорност на почвата не е константна, туку варира од еден до друг тип на почва. Количината на влага присутна во почвата, која влијае на специфичната отпорност на заземјувачот, не е константен фактор, туку има сезонски варијации. Затоа се вршат периодични тестирања за потврда дека системот за заземјување е ефикасен.

При определување дали со заземјувањето е постигната доволна сигурност меродавни се два напона: напон на допир и напон на чекор.

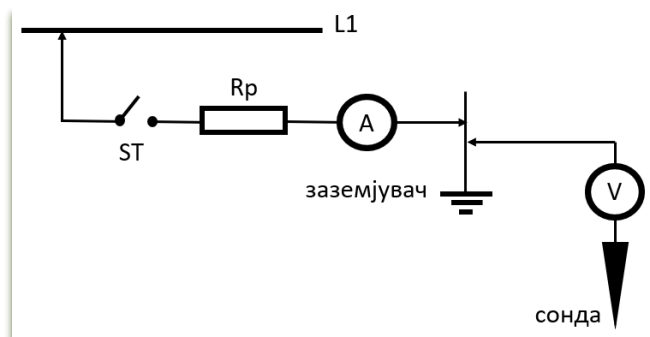
**Напон на допир** е дел од напонот на заземјувањето кој можат да го премостат луѓе, при што струјниот круг поминува преку човечкото тело од рака кон нога или од рака кон рака, при што растојанието меѓу допирните делови изнесува околу еден метар.



**Напон на чекор** е дел од напонот на заземјувањето кој може да го премостат луѓе со чекор со должина од околу еден метар, при што струјниот круг се затвора од една кон друга нога.

Во постројките се дефинирани дозволени напони на допир и чекор, како внатре така и надвор од нив.

Постојат многу методи за **мерење на отпорност на заземјување**, во зависност од системот, од видот на инсталацијата (станбена, индустриска, урбана, рурална итн.), од можноста за исклучување на струјата, површината достапна за поставување сонди итн. Најчесто се користат U-I методата (слика 6.13) и методата со употреба на омметар (слика 6.14).



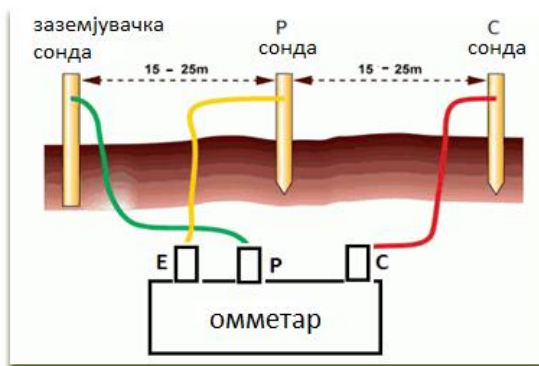
Слика 6.13: Мерење отпорност на заземјување со U-I метода

Преку предотпорникот  $R_p$  и амперметарот (A), кој ја мери струјата I во гранката, се доведува напон до заземјувачот, а на растојание од 20 m се забодува сонда во земјата. Сондата е споена со заземјувачот преку волтметар (V), кој го мери напонот U. Отпорноста на заземјувачот  $R_z$  се пресметува според Омовиот закон:

$$R_z = \frac{U}{I} \dots\dots\dots(6.2)$$

Инструментот за мерење отпорност на заземјување, всушност, е омметар за директно читање и има рачен генератор кој ја обезбедува струјата за тестирањето. Омметарот во суштина се состои од две намотки (струен калем и калем за притисок), поставени под фиксен агол една во однос на друга на заедничка оска.

Омметарот има четири приклучоци P1, C1, P2 и C2. Приклучоците P1 и C1 се куса врска. Овој спој прави заедничка точка, па затоа, всушност, тој има три терминали: E (заедничка точка), P (P1) и C (C1) кон надвор. За мерење на отпорноста на заземјување со инструмент за мерење отпорност на заземјување, заземјувачката сонда што се тестира се поврзува со нејзиниот приклучок E, а терминалите P и C се поврзуваат со помошните електроди преку вод со незначителна отпорност, слика 6.14.



Сл. 6.14: Поврзување инструмент за тестирање на заземјување

Кога рачката на инструментот за мерење отпорност на заземјување се врти со рамномерна брзина, отпорноста на заземјувањето се испишува директно на екранот или на калибрираната скала за аналогната верзија. Читањата се добиваат со закопување на сондата P на различни позиции. Прво, може да се закопа помеѓу заземјувачката сонда и струјната сонда C. Потоа, треба да се закопа на растојание од 15 метри од заземјувачката сонда, но на спротивната страна од струјната сонда C. И на крај, треба да се закопа на растојание од 15 метри од струјната сонда C. *Средната вредност на трите отчитувања ја дава отпорноста помеѓу сондата за заземјување и почвата.*

Отпорноста помеѓу заземјувачот (плочест, цевкаст, итн.) и почвата не останува константна поради променливите услови на влажноста. За квалитетно и ефективно заземјување системот за заземјување треба одвреме-навреме да се тестира и количината на влага во блиската почва треба да се зголемува со додавање вода.

Современите инструменти за испитување на електричните инсталации – тест мерачите, со помош на микропроцесор вршат пресметка на отпорноста на заземјувањето и го испишуваат резултатот од мерењето. Главна предност им е што значително се забрзува процесот на мерењето.



### 6.1.4.2 МЕРЕЊЕ НЕПРЕКИНАТОСТ НА ЗАШТИТЕН СПРОВОДНИК

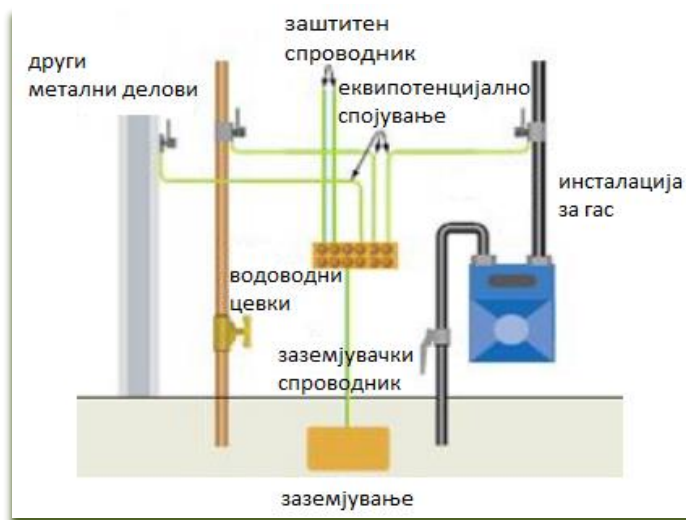
**Заштитните спроводници** ги поврзуваат металните делови изложени на допир со заземјувачката инсталација. Правилното меѓусебно поврзување значи и подобар спој на наведените делови со заземјувачката инсталација.

Заземјувачката инсталација се состои од:

- РЕ – спроводници кои ги спојуваат приклучоците (втичница, електрична опрема, приклучни точки) со заземјувачката инсталација,
- РЕ – спроводници кои ги спојуваат надворешните спроводни делови (цевки, антени, системи за греење) со заземјувачката инсталација.

**Еквипотенцијалното спојување** (слика 6.15) обезбедува контактниот напон помеѓу два споени метални дела да биде со мала вредност. Ова спојување се употребува кај:

- споеви на надворешни метални тела со заземјување преку различни РЕ спроводници,
- во случај да постојат метални тела на растојание помало од 2,5 m.



Сл. 6.15: Заштитно еквипотенцијално спојување

Во влажни простории (купатила, бањи, базени и слично) еквипотенцијалното спојување е задолжително.

При испитувањето на непрекинатост (континуитет) на заземјувањето проблем може да создадат паралелните патеки, кои не треба да се сметаат како дел од заземјувачкиот систем, бидејќи не дозволуваат точно мерење и тестирање на заземјувачкиот спроводник.

Во принцип, непрекинатост на заштитни спроводници треба да се мери пред поврзување на напонот на мрежата со испитуваната инсталација. Максимално дозволената вредност на отпорот зависи од моќноста на поврзаните оптоварувања, што се користат за инсталациски системи (TN, TT), итн.

*Целта на мерењето е да се провери непрекинатост на заштитните спроводници и главните и дополнителните еквипотенцијални врски.*

Тестот се изведува со помош на мерен инструмент способен да генерира напон без оптоварување од 4 до 24 V (еднонасочен или наизменичен) со минимална јачина на електрична струја од 200 mA. Измерената отпорност мора да биде помала од прагот наведен со стандардот што се применува за тестираната инсталација, кој обично изнесува 2  $\Omega$ . Бидејќи вредноста на отпорноста е мала, отпорот на мерните кабли мора да се компензира, особено ако се користат многу долги кабли.

Ако се користи дигитален мултиметар, за време на тестот за континуитет во инсталацијата тој испраќа мала струја низ колото за да ја измери неговата отпорност. Звучникот на инструментот накратко се вклучува кога ќе открие затворено коло. Вредноста на отпорноста потребна за активирање на звучникот варира во зависност од видот на мултиметарот и должината која се тестира, но повеќето инструменти реагираат при измерена отпорност во опсег од 0 до 50  $\Omega$ .



Сл. 6.16 Мерење непрекинатост со дигитален мултиметар



### 6.1.4.3 МЕРЕЊЕ ИЗОЛАЦИЈА

Квалитетната изолација е од суштинско значење за спречување струен удар. Со мерење на нејзината отпорност се пронаоѓаат дефектите во изолацијата на инсталацијата предизвикани од влага, лоша изолација, загадување и слично. Отпорноста на изолација е потребно да се мери помеѓу:

- фазни спроводници,
- фазен и заземјувачки спроводник (РЕ),
- фазен и нулти спроводник,
- нулти и заземјувачки спроводник.

Дозволените вредности за отпорност на изолација во различни електрични инсталации се дадени во табела 6.1.

Номинален работен напон (V)	Испитен напон (V)	Отпорност на изолација (MΩ)
до 250	250	≥0,5
до 500	500	≥1,0
над 500	1000	≥1,0

Отпорноста на изолација за инсталациите во пракса треба да е многу поголема од пропишаната вредност, особено кога се работи за нови инсталации.

**Мерење отпорност на изолација на кабли** - Тестирањето на каблите се спроведува за да може да се следи постепено влошување со тек на годините, за да се направи тестирање за технички прием по извршена инсталација, за проверка на споевите и за специјални тестирања заради поправка.

По правило, прво се спроведува тест за мерење отпор на изолација на кабелот, и доколку добиените податоци се прифатливи, тогаш се продолжува со тест за препотенцијал за еднонасочна струја. Откако ќе се изврши овој тест, потребно е повторно да се изврши тестот за отпорност на изолација, бидејќи кабелот за време на тестот за прекумерен потенцијал со еднонасочна струја може да се оштети.

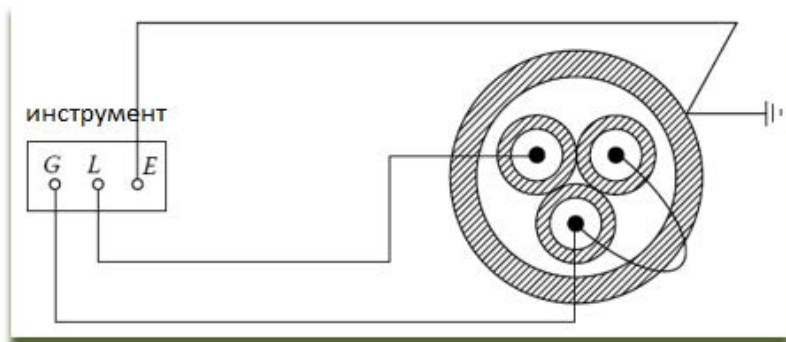
Отпорноста на изолацијата се мери со помош на мегаомметар. Ова е недеструктивен метод за одредување на состојбата на изолацијата на кабелот за проверка на контаминација поради присуство на влага, нечистотија или карбонизација.

Методата за мерење на отпорноста на изолација не ја дава мерката за вкупната диелектрична јачина на изолацијата на кабелот или слабите точки во кабелот.

Постапката за користење мегаомметар за мерење отпорност на изолација на кабел се состои од следните чекори:

- Кабелот што треба да се тестира се исклучува од останатата опрема и од колото (да не е под напон);
- Се празни складираната капацитивност во кабелот со негово заземјување пред тестирањето, како и по завршувањето на тестовите;
- Линискиот приклучок (L) на инструментот се поврзува со спроводникот кој треба да се тестира;
- Сите останати спроводници се заземјуваат.

Поврзувањето на инструментот за мерење отпорност на изолација на кабел е дадено на слика 6.17.



Слика 6.17: Мерење отпорност на изолација на кабел

Мерењата на отпорноста на изолацијата треба да се вршат во редовни интервали и да се води евиденција заради нивна споредба. Сите отчитувања, по правило, мора да се вршат на температура од  $20^{\circ}\text{C}$ . Доколку има постојан надолен тренд, тоа е показател за влошување на изолацијата, иако измерените вредности на отпорноста сè уште се над минималната прифатлива граница.



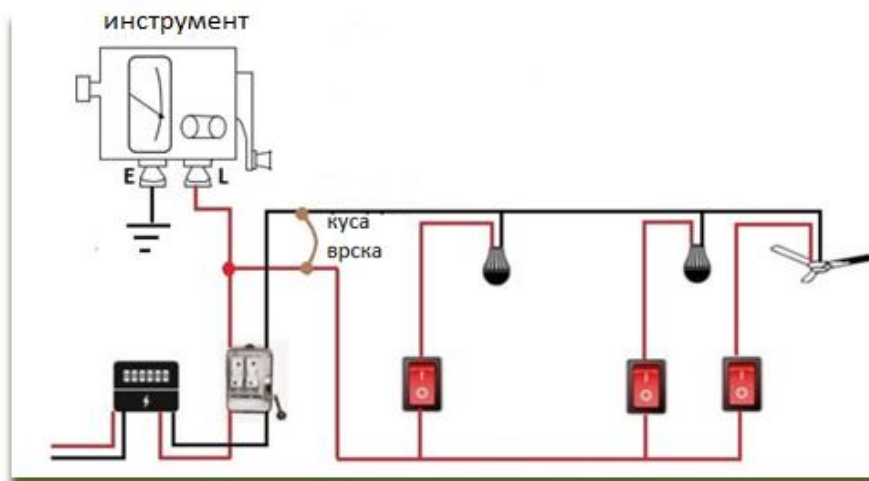
**Мерење отпорност на изолација помеѓу инсталацијата и заземјувањето** - Мерењето отпорност на изолацијата на каблите во целата инсталација се изведува за да се открие стандардот на изолацијата на спроводниците и каблите кои се користени при инсталацијата. Исто така, ова мерење е за да бидеме сигурни дека изолацијата е доволна, за да се избегне какво било можно истекување струја кон земјата. Истекувањето на струјата кон земјата не треба да надминува 0,02 % од струјата на целосно оптоварување.

Пред да се изврши мерењето на отпорноста на изолацијата помеѓу инсталацијата и заземјувањето, условите што треба да се исполнат за положбата на главниот прекинувач, осигурувачите, прекинувачите и другите точки се следните:

- главниот прекинувач треба да е исклучен,
- осигурувачите се вклучени,
- сите прекинувачи се вклучени,
- сите светилки и друга опрема се вклучени.

За тестирање на целата инсталација, тестот се врши на главниот прекинувач. Мерењето отпорност на изолација на кабли се врши со мегаомметар.

За да се изврши овој тест, фазниот и неутралниот спроводник привремено кусо се врзуваат во која било соодветна точка, или како што е прикажано на слика 6.18.



Сл. 6.18 Поврзување инструмент за мерење изолација на целата инсталација

Приклучокот L од инструментот се поврзува со точката на куса врска во главниот прекинувач, а приклучокот за заземјување означен со E се поврзува со спроводникот за континуитет на заземјувањето или со некоја друга соодветна точка за заземјување во близина.

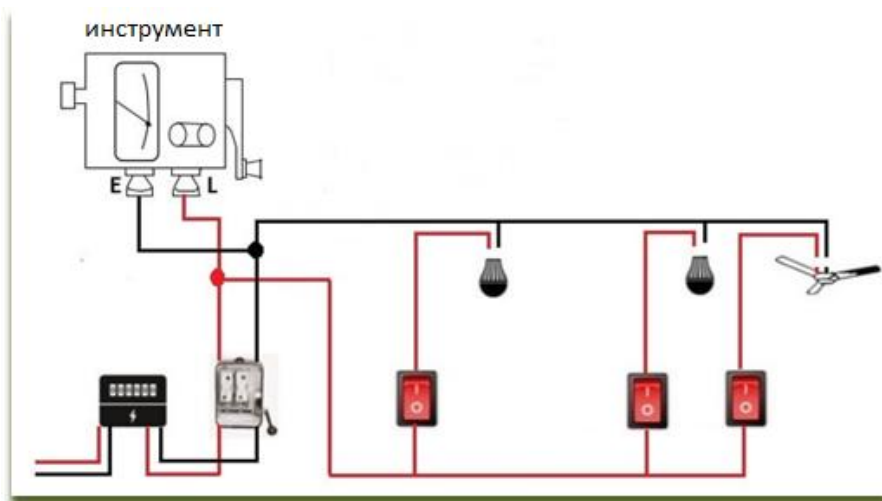
Рачката на тестерот се врти со голема брзина за да се произведе доволен напон за тестирање. На индикаторот на уредот се испишува измерената вредност.

Измерената отпорност на изолација не треба да биде помала од 0,5 MΩ за цврсти, здрави и фиксирани спроводници. Ако отпорноста на изолацијата е под оваа вредност, должината што ја дава таа вредност треба повторно да се ожичи или темелно да се провери, сè додека не се добие потребната вредност.

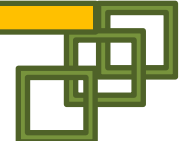
**Мерење отпорност на изолација помеѓу спроводници** - Ова мерење се врши заради проверка на изолацијата на каблите или спроводниците, односно дека тие не се оштетени и не постои истекување меѓу нив.

Пред да се изврши мерењето, положбите на главниот прекинувач, осигурувачите, прекинувачите итн., треба да се следните:

- главниот прекинувач е исклучен,
- сите прекинувачи се вклучени,
- сите светилки и други апарати треба да се исклучени,
- осигурувачите се вклучени.



Сл. 6.19 Мерење отпорност на изолација меѓу спроводници



Приклучокот L од инструментот за мерење отпорност се поврзува со фазата на инсталацијата, а приклучокот E за заземјување се поврзува на неутралниот спроводник, слика 6.19. Вака измерената отпорност на изолација не треба да биде помала од 0,5 MΩ.



- ❖ Електрична инсталација е збир од спроводници, приклучници и електрични потрошувачи на електрична енергија.
- ❖ Според номиналниот напон, постојат инсталации за низок и инсталации за мал напон.
- ❖ Според намената, постојат електроенергетски, громобрански, телекомуникациски и сигнални инсталации.
- ❖ Стандардите во нашата држава се со ознаката МКС и буквата Н за електротехника.
- ❖ Ефективноста на инсталациите може да се гарантира само ако редовните тестови докажуваат дека тие работат правилно.
- ❖ Под електрично тестирање се подразбира: визуелна проверка и мерења.
- ❖ Мултифункционални тестери се мерни уреди за мерење повеќе параметри.
- ❖ Тестер за непрекинатост е мерен уред за електрично тестирање на електричната патека помеѓу две дадени точки.
- ❖ Тестерите за заземјување и отпорност на заземјување се мерни уреди кои се користат за да се обезбеди пропишаната отпорност на заземјување на апаратите и опремата.
- ❖ RCD склопката се користи за автоматско исклучување на напојувањето при директен допир на деловите под напон или при грешка на потрошувачот и појава на индиректен напон.
- ❖ Отпорноста на заземјувачот треба да дава добра заштита и мора редовно да се мери.
- ❖ Напон на допир е дел од напонот на заземјувањето кој можат да го премостат луѓето.
- ❖ За мерење отпорност на заземјување најчесто се користат U-I методата и методата со употреба на инструмент-омметар.
- ❖ Еквипотенцијалното спојување обезбедува контактниот напон помеѓу два споени метални дела да е со мала вредност.
- ❖ Со мерење на отпорноста на изолацијата се откриваат дефектите во изолацијата на инсталацијата.

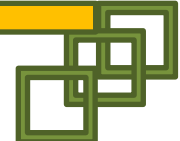
## 6.2 КОМУНИКАЦИСКИ ИНСТАЛАЦИИ

**Комуникациските инсталации** се користат за размена на информации на далечина. Во станбените објекти се инсталираат различни комуникациски инсталации:

- кабелски систем, односно телефонска и компјутерска мрежа,
- куќен интерфон,
- електрична инсталација за дистрибуција на ТВ-сигнал,
- антенски систем,
- надворешен и внатрешен видеонадзор (IPССТV), во рамки на системот за техничка заштита,
- заштита од кражба, во рамки на системот за техничка заштита,
- електрична инсталација за контрола на пристап, во рамки на системот за техничка заштита,
- СОС сигнализација (на пример, во тоалет, наменет за лица со посебни потреби),
- автоматски систем за откривање и сигнализација на пожар,
- систем за автоматско откривање и сигнализирање на присуство на гас, итн.

Секоја комуникациска инсталација се состои од **предавател, приемник и преносен медиум**. Преносен медиум е физичкиот пат помеѓу предавателот и приемникот. Во зависност од видот на медиумот за пренос на сигналот, постојат жичени и безжични комуникациски инсталации. При избор на медиумот за одредена комуникациска инсталација клучни карактеристики се: цената, брзината на пренос на сигналот и дометот (растојанието до кое сигналот се пренесува со пропишаниот квалитет).

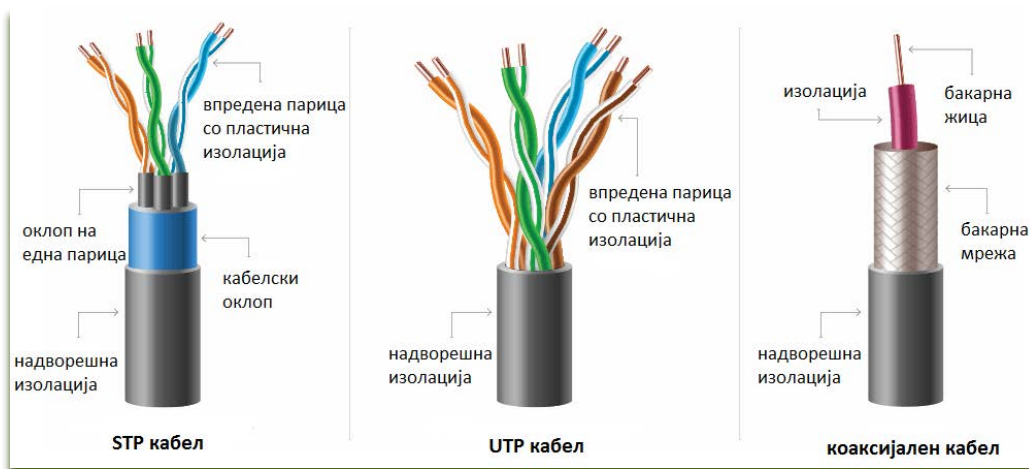
Фактори кои ја одредуваат брзината на пренос (се изразува во bps - битови во секунда) и дометот се: **фреквенцискиот опсег, слабеењето и интерференцијата**. Фреквенциски опсег претставува разлика помеѓу највисоката и најниската фреквенција што може да се пренесе. Слабеењето е најмало кај оптичките влакна, а најголемо кај впредените парици. Интерференција е меѓусебното влијание на сигналите на фреквенции кои се преклопуваат.



За жичени инсталации се користат следните видови водови:

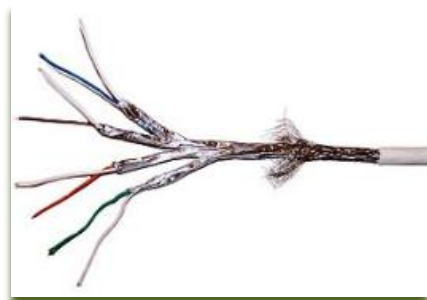
- водови со впредени парици,
- коаксијален кабел,
- оптички кабел.

За изработка на спроводниот дел во **водовите со впредени парици** се користи бакар, кој е добар спроводен материјал и е отпорен на корозија. Секој од паровите жици пренесува струја, но сигналите се фазно поместени за  $180^{\circ}$ , што го намалува нивното заемно влијание (преслушување) и влијанието поради електромагнетна интерференција со сигналите од надвор. Заради дополнителна заштита од шум, водовите со впредени парици може да бидат заштитени со метална обвивка (оклоп). Водот со оклоп е познат како заштитена впредена парица **STP** (Shielded Twisted Pair), а водот без оклоп е незаштитена впредена парица **UTP** (Unshielded Twisted Pair). Доколку се потребни повеќе приклучоци со впредени парици, се користат две или повеќе парици во заеднички кабел, слика 6.21.



Сл. 6.21 Впредени парици и коаксијален кабел

Трет вид впредени парици се **FTP** (Foil Twisted Pair), слика 6.22, кај кои жиците се обвиткани со алуминиумска фолија.

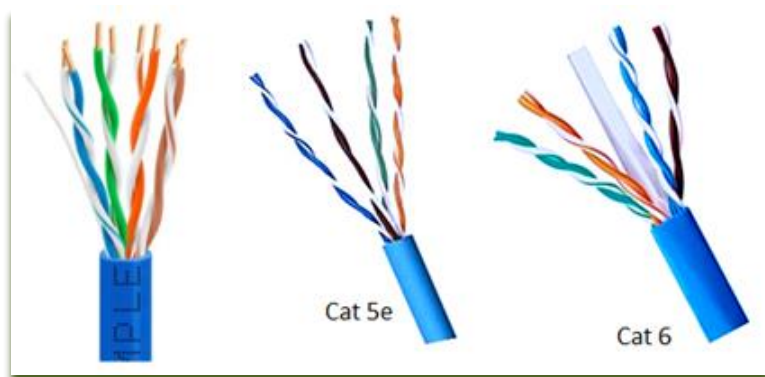


Сл. 6.22 S/FTP кабел

Водовите со впредени парици се користат за телефонски линии, DSL (Digital Subscriber Line) линии и LAN (Local Area Network) мрежи. Впредените парици се категоризираат (CAT) на следниот начин:

- Category 1 – UTP со брзина до 1Mbps, стар телефонски кабел;
- Category 2 – UTP за мрежи со брзина до 4 Mbps;
- Category 3 – UTP за мрежи до брзина од 10 Mbps;
- Category 4 – UTP за мрежи со брзина до 16 Mbps;
- Category 5 – UTP за мрежи со брзина до 100 Mbps;
- Category 5e – UTP за мрежи со брзина до 1 Gbps;
- Category 6 – UTP за мрежи со брзина до 10 Gbps, домет од 55 m;
- Category 6a – UTP за мрежи со брзина до 10 Gbps, домет од 55 m;
- Category 7 – UTP за мрежи со брзина до 100 Gbps, домет од 100 m.

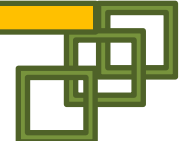
**LAN кабелот** е составен од бакарни впредени парици и се користи за поврзување на компјутерот и други уреди на интернет конекција. Се нарекува и мрежен кабел, а се поставува од рутерот, модемот или мрежниот прекинувач до уредите, за да им обезбеди пристап до локалната мрежа, односно интернет пристап.



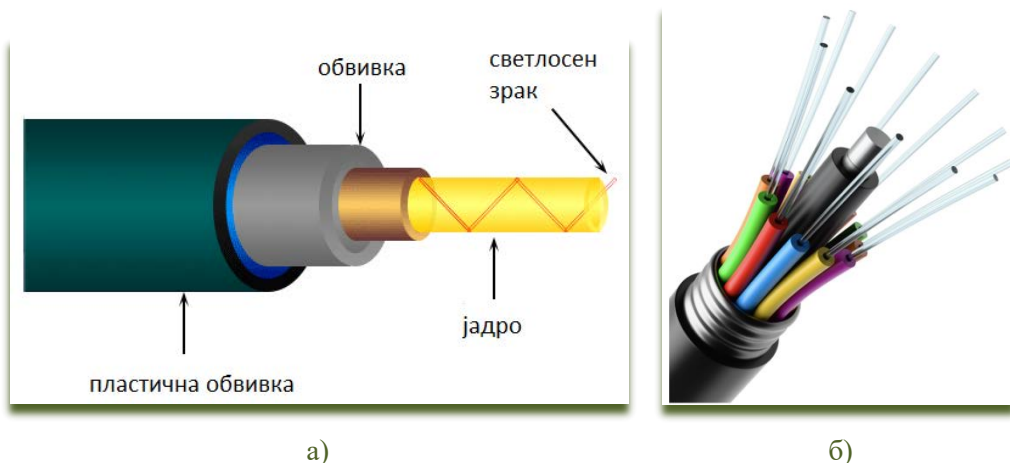
Сл. 6.23 LAN кабел

**Коаксијалниот кабел** (слика 6.21) се состои од четири дела: спроводник од бакар, изолатор, бакарна мрежа и надворешен изолатор. Овој кабел примарно се користи за пренос на телевизиски сигнали, а во компјутерските мрежи се користат следните типови коаксијални кабли:

- RG-58 (thin wire) - тенок кабел со брзина до 10 Mbps, отпорност од 50  $\Omega$  и со домет (должина) до 185 m;
- RG-11 (thick wire) - подебел кабел со брзина до 10 Mbps, отпорност од 75  $\Omega$  и со домет и до 500 m.



**Оптичкиот кабел (светловодот)** содржи едно или повеќе оптички влакна (слика 6.24б), кои се користат за пренос на податоци. Секое оптичко влакно поединечно е обложено со пластичен слој и е поставено во заштитна цевка, слика 6.24а. Кабелот со оптички влакна пренесува податоци во форма на светлина и неговиот преносен капацитет е 26.000 пати поголем од оној на кабелот со впредени парици. Споредени со коаксијалните кабли, каблите со оптички влакна се полесни и посигурни за пренос на податоци. Тие пренесуваат информации користејќи ја светлината, наместо електричната енергија.



Сл. 6.24 Оптичко влакно и оптички кабел

## 6.2.1 МЕРНИ УРЕДИ ЗА ТЕСТИРАЊЕ КОМУНИКАЦИСКИ ИНСТАЛАЦИИ

Мерењата во пристапните мрежи се вршат во три ситуации:

- при примање на линијата од монтер,
- како дел од редовното одржување,
- интервенција, во случај на пречки,
- при преквалификација на париците што се користат за пренос во основниот опсег во парици за широкопојасен пренос.

Според намената, мерните инструменти можат да се поделат во следните групи:

- инструменти за одредување на состојбата на инсталацијата,
- инструменти за претходно лоцирање (предлоцирање) на пречки,

- локатори на кабли,
- инструменти за квалификација на парици за широкопојасен пренос и дигитално тестирање на линијата,
- повеќенаменски (мултифункционални) инструменти.

### **6.2.1.1 ИНСТРУМЕНТИ ЗА ОДРЕДУВАЊЕ НА СОСТОЈБАТА НА ИНСТАЛАЦИЈАТА**

Во зависност од видот на проблемот и неговиот опсег, а честопати и веродостојноста на претходните тестови и ограничувања, сите мерења се засноваат на утврдување на состојбата на кабелската инсталација.

Утврдувањето на состојбата на кабелот, особено во случај на посложени проблеми од поголеми размери, е неопходно и има за цел да избере параца или парици најпогодни за лоцирање на проблемот, како и избор на најпогодни методи на мерење. Ова мерење го скратува времето за останатите мерења. Исто така, споредувањето на бројот на парици „погодени“ од проблемот со вкупниот број на парици во кабелот може да помогне да се одреди проблематичната делница на кабелот. Се подразбира дека во овој случај е потребно да се располага со мапата на каблирањето. Мапата на каблирање е дел од проектната (техничка) документација на комуникациската инсталација и ги содржи спецификациите за употребените кабли и нивната должина, мапа на нивна поставеност со прецизни димензии, како и сите останати елементи и уреди кои се дел од инсталацијата.

Неправилностите во техничката документација може да предизвикаат и грешка во толкувањето на резултатите од мерењата за лоцирање на местото на нарушувањето.

Инструментите за дијагностицирање на состојбата на инсталацијата вклучуваат:

- уреди кои можат да мерат еднонасочен (DC) и наизменичен (AC) напон,
- мерење отпорност на изолација,
- мерење отпорност на заземјување,
- мерење слабеење и преслушување.



DC и AC напоните се мерат за да се утврди присуство на надворешни напони на линијата (напони кои не потекнуваат од тест сигналот на самиот инструмент). Овие напони може да бидат непосредни причини за пречки или може да влијаат на точноста на мерењето. За нивно мерење се користат **дигитални мултиметри** или **волтметри**, интегрирани во некои од најчесто користените мултифункциски уреди.

**Мерењето на отпорноста на изолацијата** е важен чекор за одредување на состојбата на кабелот. Може да се реализира со самостоен инструмент, прикажан на слика 6.25 или со мултифункциски инструмент-рефлектометар, слика 6.26.



Сл. 6.25 Инструмент за мерење отпорност на изолација



Сл. 6.26 Рефлектометар

Всушност, може да се користат сите инструменти кои имаат вградено мерење отпорност на изолација и можност за проверка на надворешни напони.

**Мерењата на отпорност на заземјување** се користат за проверка на исправноста на делот од инсталацијата на кој се однесува т.н. „трета жица“, односно поврзувањето на системот со земјата како спроводник на дел од енергијата. Оваа врска се користи и при самите мерења, со цел да се обезбеди ефикасен пристап до точките во мрежата во кои не е можно да се поврзат инструменти, како што е случај со голем број мостни методи и кај локаторите на кабел. За различни типови на инсталации, барањата за квалитетот на заземјувањето може да варираат, но за сите е заедничко тоа што освен што влијае на нивото и квалитетот на преносот, лошото



заземјување придонесува и за големи грешки при мерењето. Поголеми грешки се јавуваат кај мерењата надвор од разводните табли и разделниците, каде што заземјувањето е, по правило, нешто полошо. Затоа, при мерење на терен е потребно да се провери квалитетот на делот од инсталацијата кој се однесува на заземјувањето.

Сл. 6.27 Уред за мерење отпорност на заземјување (Metrel)

Инструментите за **мерење слабење** и **слабење заради преслушување** вклучуваат сетови (комплети) на предавател-приемник во аналогна и во дигитална изведба, чија главна цел е мерење на слабењето, но може да се користат и за **мерење импеданса** во конфигурација на мерен мост или со примена на методата на стојни бранови.

Покрај овие инструменти, слабењето може да се мери и со некои рефлектометри, како и со тестери за кабли за широкопојасен пренос.

### 6.2.1.2 ИНСТРУМЕНТИ ЗА ЛОЦИРАЊЕ НА ПРЕЧКИ

**Рефлектометарот TDR** (Time Domain Reflectometer) (слика 6.28) може да се користи за лоцирање и дефинирање дефекти во кабли со впредени парици или во коаксијален кабел. Се користи и за мерење импеданса на каблите. Тој може да се користи и за лоцирање на дисконтинуитет во конектори, печатени кола или дел од некое затворено електрично коло.

**Оптичкиот рефлектометар OTDR** (слика 6.29) е оптоелектронски инструмент кој се користи за тестирање оптички влакна. Тој е оптички еквивалент на TDR рефлектометарот, кој се користи за мерење на импедансата на кабелот кој се тестира.



Сл. 6.28 TDR рефлектометар (Sonel)

## 6. Мерни уреди за контрола на електрични и комуникациски инсталации

OTDR праќа низа оптички импулси во влакното кое се испитува и на истата позиција од влакното прима светлина, која е распрскана или рефлектирана од точките по должината на влакното. Распрсканата или рефлектираната светлина што се собира на појдовната точка се користи за анализирање на оптичкото влакно. Јачината на повратните импулси се мери и се претставува како функција од времето и се прикажува како функција по должината на влакното.



Сл. 6.29 OTDR Оптички рефлектометар (Yokogawa)



Сл. 6.30 LCR метар

**LCR метар** (слика 6.30) е уред за тестирање, кој се користи за мерење импеданса, преку мерење на индуктивноста ( $L$ ), капацитивноста ( $C$ ) и отпорноста ( $R$ ) на некоја електронска компонента или вод.

**Кабелските тестери** вообичаено се користат за повеќе различни мерења, ја проверуваат исправноста и функционалноста на мрежни и коаксијални водови. Вршат проверка на непрекинатоост, куса врска, преслушување, итн.



Сл. 6.31 Тестер за кабли

### 6.2.1.3 ЛОКАТОРИ НА ВОДОВИ

**Кабелските локатори** се инструменти кои се користат за откривање сидни и подземни инсталации (слика 6.32), одредување на правецот на нивната поставеност, идентификација на водовите, како и прецизно определување на местата што предизвикуваат пречки.



Сл. 6.32 Локатор на сидни и подземни водови (предавател и приемник) (Fluke)



Сл. 6.33 Дигитален локатор на подземни водови (Technoac)

Локаторот од слика 6.33 е со современа технологија и врши графичко прикажување на кабелот на LCD дисплеј, испишувајќи ги и длабочината во земјата и неговите координати преку GPS системот кој е интегриран во него. Измерените податоци може да се пренесат до компјутер, кој со соодветна апликација може да ги обработува.

### 6.2.1.4 ПОВЕЌЕНАМЕНСКИ (МУЛТИФУНКЦИСКИ) МЕРНИ УРЕДИ

**Повеќенаменските инструменти** имаат интегрирани функции и можат да се применат на различни работни места и задачи во рамки на мерењата во комуникациската инсталација. Повеќето од веќе споменатите инструменти може да се сметаат за повеќенаменски инструменти, односно за инструменти во кои се интегрирани неколку различни мерни функции. На пример, во кабелските мерни мостови има вграден волтметар и мерач на

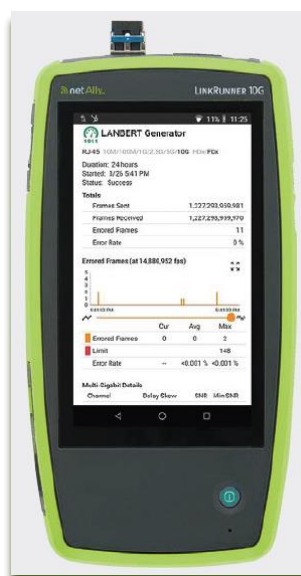


отпорност на изолација. Кај рефлектометарот, покрај дополнителните опции за мерења на надворешни напони и на отпорот на изолацијата, постојат и опции за мерења на слабеењето заради преслушување.

Вистинска мултифункционалност, сепак, во смисла на примена на инструментот за многу различни тестови, почнувајќи од приемот на линијата, па завршувајќи со елиминација на пречките, имаат само современите инструменти за тестирање на дигитални линии. Овие инструменти се уреди кои можат да вршат различни видови на мерења (освен за определување на позицијата на кабелот-локатор и мерење отпорност на заземјување) во многу широк опсег на фреквенции, и се користат во голем број технологии и услуги.



Сл. 6.34 Мултифункционален тестер (Greenlee)



Сл. 6.35 Мултифункционален тестер за мрежно тестирање (NetAlly)

Уредот од слика 6.34 проверува непрекинатост, мери должина на кабел, ја испитува функционалноста на мрежата, лоцира дефекти, извршува рефлектометарски мерења.

Тестерот од слика 6.35 се користи за мрежно тестирање. Извршува мерења и на бакарни и на оптички кабли, ја тестира мрежата, пронаоѓа дефекти, врши идентификација на проблеми од типот мала брзина на пренос на податоци, итн.

Мултифункционалните инструменти често имаат и бројни нестандартни функции за кои производителите сметаат дека ќе го олеснат и ќе го забрзаат мерењето.

## 6.2.2 ИСПИТУВАЊЕ И МЕРЕЊЕ КАРАКТЕРИСТИКИ НА КОМУНИКАЦИСКИ ИНСТАЛАЦИИ

Телекомуникациските кабли со впредени парици имаат поинаква конструкција од електричните. Тие најчесто се состојат од паралелни или впредени парови спроводници-парици, создавајќи таканаречени кабли со впредени парици. Во кабелот може да има најмалку два спроводници, а максимумот може да достигне и до неколку стотици. Сите спроводници може да бидат заштитени со еден оклоп или секоја парица може да биде со сопствена заштита. Интеракцијата на спроводниците во телекомуникациските кабли зависи од распоредот на париците и, секако, е помала доколку растојанието помеѓу нив е поголемо.

Меѓутоа, во некои случаи интеракцијата помеѓу сигналите во различни спроводници може да биде и посакувана појава. Една од можните примени е појавата на т.н. локации на дефект при употреба на сигнали со широк опсег на фреквенции, односно импулсни сигнали. Оваа појава овозможува локализација на дефекти, како во спроводниците така и во изолациониот материјал.

Постојат различни типови на дефекти на кабелот, на пример, врска меѓу металните спроводници, истекување или спроводливост на изолацијата кон оклопот, контакт и истекување струја помеѓу спроводниците, дефекти на оклопот (за каблите со оклоп) или дефекти на надворешната изолација.

Со едноставна импулсна метода, заснована на емитување **импулс за тестирање** и со **мерење на времето на неговата пропација** (простирање) од почетокот на кабелот до местото на оштетување и назад, не е возможно да се лоцираат сите видови дефекти што може да се случат во практиката. Ова особено се однесува на повеќекратните дефекти (лоцирани на различни места) во каблите со повеќе парици.



### 6.2.2.1 ИСПИТУВАЊЕ НЕПРЕКИНАТОСТ НА ВОД

Проверката се врши едноставно со употреба на кабелски тестер. Приклучувањето за испитување на LAN кабел е како на слика 6.36. За приклучување на коаксијален кабел и кабел со впредени парици со различни конектори, двете единици од тестерот имаат соодветни приклучоци. Сигнализацијата на уредот за постоење непрекинатост е прикажана со стрелката на сликата. Тој врши и поединечна сигнализација, односно дава информација за непрекинатост и за секоја од осумте линии за одредени типови на кабли и конектори.

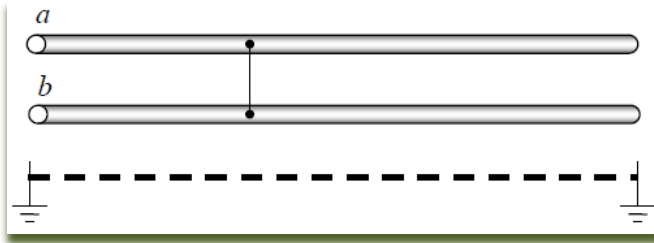


Сл. 6.36 Испитување непрекинатост со тестер на кабел

### 6.2.2.2 ИСПИТУВАЊЕ КУСА ВРСКА ВО ВОД СО ВПРЕДЕНИ ПАРИЦИ

Кусата врска или контактот помеѓу спроводниците а и б внатре во парицата најчесто е предизвикана од механички притисок врз кабелот или поради олабавување на изолацијата поради стареење, навлегување вода или дефект на диелектрикот (слика 6.37). Под куса врска се подразбира мала отпорност помеѓу спроводниците, помала од карактеристичната импеданса на парицата.

Понекогаш кусата врска е резултат на човечки фактор, на пример, по примената на некои мостни методи или трагачот на кабел, заборавено е да се одврзе јамката на спротивниот крај.



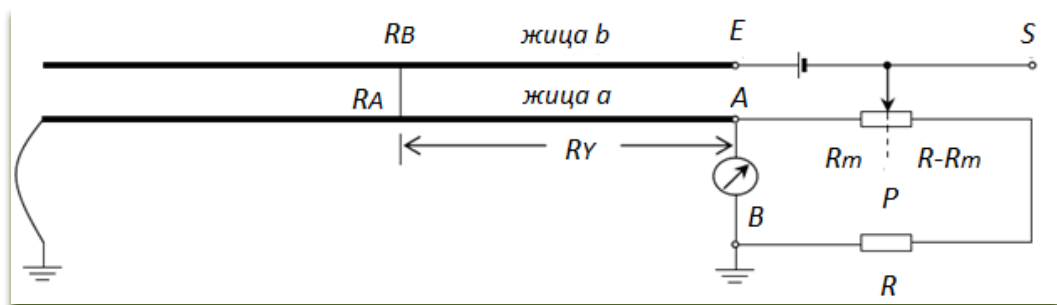
Сл. 6.37 Куса врска во парица

Кусата врска може да се констатира и да се лоцира на следните начини:

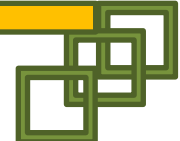
1. комбинирано – со мерење отпорност на изолација и мерен мост;
2. со рефлектометар.

При **мерење отпорност на изолацијата** многу е лесно да се забележат малите импеданси помеѓу спроводниците, бидејќи очекуваните вредности на отпорност на правилната изолација се од редот на мегаоми или гигаоми. За жал, на овој начин лоцирањето на позицијата на пречката не е со доволна сигурност.

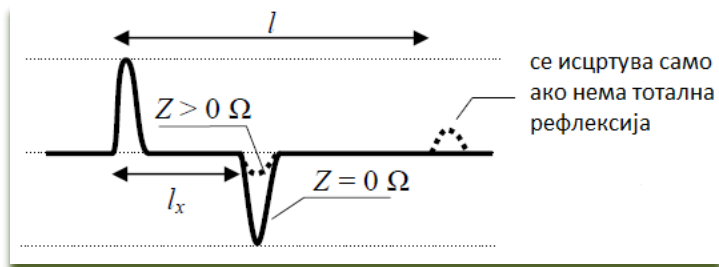
Кабелскиот **мерен мост** може да се користи за предлоцирање на куса врска помеѓу спроводниците на следниот начин: еден од спроводниците на кусата врска (на пример, спроводникот а) се поврзува како заземјување, а другиот спроводник (b) и заземјувањето се поврзуваат со влезовите А и В на мостот. Оваа конфигурација се нарекува метода на Мареј. Предуслов е да се измери отпорноста на јамката А-земја со заземјување на спроводникот, а на спротивниот крај и поврзување на земјата со влезот В на мостот, додека другиот спроводник (b) се поврзува со влезот Е (како заземјување). Начинот на поврзување е даден на слика 6.38:



Сл. 6.38 Поврзување парица за предлоцирање куса врска со мерен мост



При примена на **рефлектометар** за предлоцирање куса врска, се добива одговор на рефлектограмот како на слика 6.39.



Сл. 6.39 Рефлектограм за нискоомска куса врска

Ако спроводливоста на кусата врска е идеална ( $0 \Omega$ ), рефлексијата на точката на пречки ќе биде тотална и се појавува во форма на голем негативен врв на рефлектограмот. Крајот (испрекинатата линија) нема да биде забележлив, бидејќи простирањето на енергијата низ парицата ќе биде оневозможено (напонот е  $0 V$ ).

Во случај спроводливоста да не е еднаква на  $0 \Omega$  при куса врска ( $Z > 0 \Omega$ ), рефлексијата сè уште ќе биде негативна, но нема да биде тотална и може да се случи крајот да е едвај забележлив. На слика 6.39 ова е прикажано со испрекинатата линија.

Рефлектометарот е супериорен за предлоцирање куса врска помеѓу спроводниците во однос на мостните методи, пред сè, поради брзината на поставување дијагноза и одредување на приближното растојание до пречката.

### 6.2.2.3 МАПИРАЊЕ ВОДОВИ

**Мапирање водови** се врши со цел да се утврди трасата по која се протега кабелот, заради планирање ископување или проверка. Непознавањето на насоката на инсталацијата може да предизвика бројни проблеми, како, на пример, копање ровови кои се премногу широки или премногу тесни, ископување погрешни кабли или неможност за корекција во случај на помали грешки во лоцираното нарушување (дефект).

Постапката **pin-pointing** има задача да ја потврди вистинската локација на нарушувањето кое е проценето во фазата на предлоцирање.

Мапирањето се врши директно над каблите. Преку кабелот се испраќаат електрични или акустични импулси со одредена фреквенција, кои приемната сонда на површината ги детектира, ги засилува и ги сигнализира до операторот. Во зависност од видот на пречките и условите при мерењето, мапирањето може да биде повеќе или помалку успешно, така што искуството на човекот кој мери е од клучно значење за минимизирање на грешките при мерењето.

### 6.2.2.4 МЕРЕЊЕ СЛАБЕЕЊЕ

**Слабењето на сигналот** по линијата влијае на односот сигнал-шум, бидејќи го намалува корисниот сигнал и ја намалува брзината на пренос на податоците. Сепак, слабењето влијае и на самата постапка на мерење. Во зависност од измереното слабење на водот се одредува видот на приклучокот за затворање на линијата. Со зголемување на должината на бакарната парица се зголемува и нејзиното слабење. Големината на примарните параметри, во услови на почитување на стандардите во производството на кабли и структурата на пристапните мрежи, доминантно зависи од фреквенциите во спектарот на сигналот. Оваа зависност предизвикува и зависност на слабењето во бакарни парици од фреквенцијата на сигналот кој се пренесува. Станува збор за примарните параметри на водот, кои при неговата употреба трпат промени, кои можат да се појават во форма на деградација на изолацијата, што се манифестира со зголемување на нејзината спроводливост и капацитивност, како и со појава на лоши споеви, кои ја зголемуваат отпорноста.

Мерењето на слабењето секогаш се врши со помош на два уреда, кои се поврзуваат истовремено со двата краја на линиите (слика 6.40).



Сл. 6.40 Мерење слабење со две порти



Уредите мора да бидат од ист тип и од ист производител, во спротивно мерењето нема да биде можно. Ова е од причина што производителите користат различни механизми на меѓусебна идентификација на инструментите.

За разлика од модемот кој испраќа еден сигнал со суперпонирани тонови, при мерење на слабењето со две порти оддалечениот инструментот испраќа повеќе тонови последователно од опсегот кој не интересира (на пример, од 20 kHz до 1,1 MHz за ADSL линии). Тоновите ги испраќа со одреден чекор (на пример, секој следен тон се поместува за 4 kHz). Најчесто, нивото на испратените тонови е 0 dBm (1 mW). Главниот инструмент го мери нивото на дојдовниот тон и ја одредува зависноста од слабењето на линијата во dB.

Во случај кога слабењето на сигналот по линијата во целиот фреквентен опсег е подобро од -6 dB, тогаш правилното затворање (терминирање) на линијата ќе влијае врз точноста на резултатите во пракса (на пример, кога линијата е затворена со импедансата на приклучениот модем). За толку мало слабење дури мора да се земе предвид дека пропишаната импеданса на системот нема да биде реална и дека разликите во перформансите од различни производители на модеми може да влијаат врз добиените резултати.

Доколку измереното слабење е во опсег од -6 dB до -20 dB, линијата може да се затвори со чисто омска отпорност за целиот фреквенциски опсег. За линии чиешто слабење е поголемо од -20 dB, затворањето на оддалечениот крај нема да влијае врз резултатите.

Во секој случај, слабењето мора да ги исполнува условите пропишани со стандардите за дадената технологија, за да може линијата да ја помине квалификацијата и да ги обезбеди бараните квалитет и стабилност.

### **6.2.2.5 МЕРЕЊЕ ПРЕСЛУШУВАЊЕ**

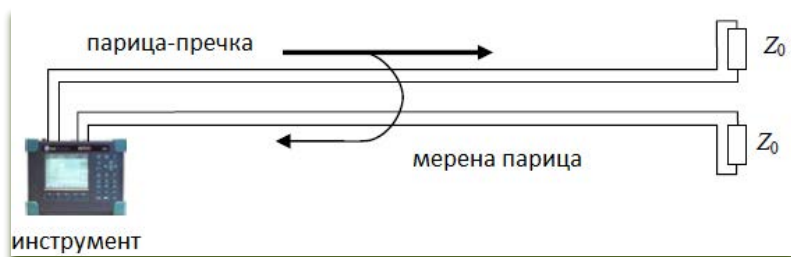
Преслушувањето е важно во широкопојасните технологии само како вкупно преслушување од сите елементи во системот. Делумните резултати од мерењата на слабењето заради преслушување помеѓу две парици имаат

многу мало значење. За да се одреди вкупното слабеење, потребно е да се извршат голем број мерења од сите останати парици кон една, што би траело многу долго, би предизвикало голема грешка при мерењето и би барало прекин на работата на активните системи. Затоа, се препорачува да не се врши мерење на слабеењето на преслушување за само една парица, туку со анализа на спектарот на шумот да се проценат спрегите кои постојат помеѓу различни системи.

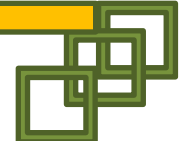
Сепак, постојат некои исклучоци кога е неопходно мерење преслушување, а тоа е кога корисникот има потреба да го зголеми бројот на парици преку еден модем. Иако, и во овој случај постои ризик од автопреслушување. И во овој случај, важно е само вкупното преслушување, а не само помеѓу поединечни парици.

Кај мрежите преслушувањето FEXT (far-end-crosstalk) е несакано спојување на енергијата помеѓу две кола или канали што се случува на „крајниот крај“ на врската, т.е. далеку од точката на потекло на сигналот. Ослабениот дојдовен (downstream) сигнал од мрежата може да доживее преслушување со силниот појдовен (upstream) сигнал што произлегува од опремата во просториите на корисниците. FEXT не е голем проблем за, на пример, V.90 модемите или услугите за асиметрична дигитална претплатничка линија (ADSL) во просториите на корисниците, бидејќи каблите се помали и содржат помалку впредени парици од централната точка кон крајните корисници, така што има помалку можности да дојде до преслушување. Преслушувањето NEXT (near-end-crosstalk) се појавува на „блискиот крај“ на врската.

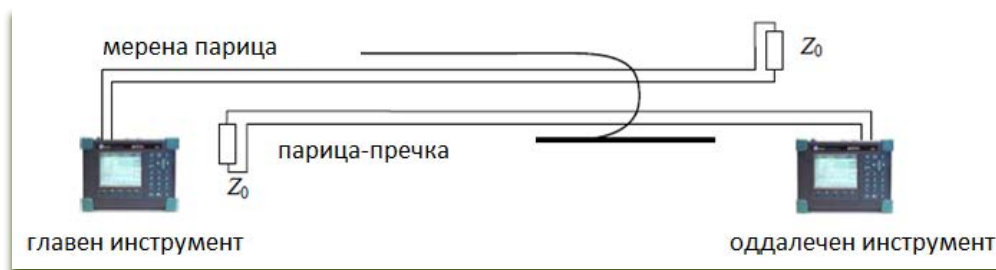
За да се изврши мерење на NEXT, доволен е еден инструмент со две порти, а мерењето се врши со едниот крај, како на слика 6.41. Добиените резултати зависат од фреквенцијата на сигналот.



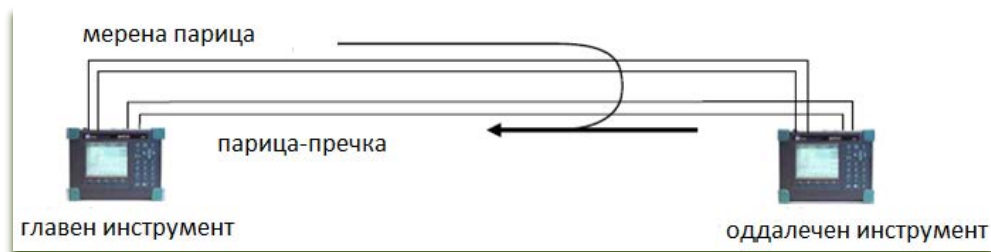
Сл. 6.41 Мерење слабеење заради преслушување на поблискиот крај



За мерење на FEXT се потребни два инструмента, како и при мерењето на слабеењето. Мерењето може да се врши двојично и четирижично, слики 6.42 и 6.43.



Сл. 6.42 Двојично мерење слабеење заради преслушување



Сл. 6.43 Четирижично мерење слабеење заради преслушување

И при NEXT и FEXT мерењата, линиите мора да се затворат со импедансата на планираниот систем ( $135 \Omega$  за HDSL и G.SHDSL, односно  $100 \Omega$  за ADSL и VDSL) со цел да се добијат резултати кои се блиску до реалните вредности во пракса. Крајните импеданси спречуваат појава на рефлексија и не дозволуваат поради нив да настане дополнително преслушување.

Секако, и овде важи условот дека не е важна импедансата на крајот, доколку слабеењето на водот е поголемо од  $-20 \text{ dB}$ .

При мерење на NEXT слабеењето на преслушувањето треба да се има предвид дека со замена на спроводниците во парот за време на мерењето (слика 6.41) се добиваат исти резултати, додека замената на париците при мерење на FEXT дава различни резултати. Тоа е затоа што при мерење на NEXT, ефективната константа на простирање  $\gamma$  се добива како збир од константите  $\gamma$  на секоја поединечна парица, а кај FEXT резултантната константа се добива со нивно одземање.

Исто така, мерењето на NEXT (или FEXT) од едната или од другата страна може и да не ги даде истите резултати. Резултатите ќе зависат од тоа каде по должината на линијата се случува преслушувањето (поблиску или подалеку од инструментот) и од големината на подолжното слабеење.

### 6.2.2.6 ВРЕМЕ НА ПРОПАГАЦИЈА НА СИГНАЛ

Во телекомуникациските мрежи **времето на пренос на сигналот** е временскиот период од почетокот до крајот на преносот на пораката. Кога станува збор за пренос на дигитална порака, тоа е времето што е потребно пораката (од првиот до последниот бит) да ја напушти точката која го врши предавањето. Времето за пренос на пакетот во секунди може да се добие од големината на пакетот во битови и брзината на пренос во bit/s како:

**Време за пренос на пакет = Големина на пакет / Брзина на пренос**

**Пример:** Ако брзината е 100 Mbit/s Ethernet и големината на пакетот е 1526 B, тогаш:

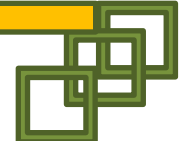
Максимално време за пренос на пакет =  $1526 \times 8 \text{ bit} / (100 \times 10^6 \text{ bit/s}) \approx 122 \mu\text{s}$

Брзината на пропација на сигналот зависи од физичкиот медиум на врската (оптички влакна, бакарна впредена парица, итн.) и е во опсег од  $2 \times 10^8 \text{ m/s}$  за бакарни парици и  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$  за безжична комуникација, што е еднакво на брзината на светлината. Односот на вистинската брзина на ширење и брзината на светлината се нарекува и фактор на брзина на медиумот.

**Доцнење на пропацијата на сигналот** е времетраењето потребно за сигналот да стигне до својата дестинација. Доцнењето на пропацијата на сигналот низ физички медиум може да се пресмета со делење на растојанието (должината на медиумот) во метар со неговата брзина на пропација во m/s.

**Време на пропација = Растојание / брзина на пропација**

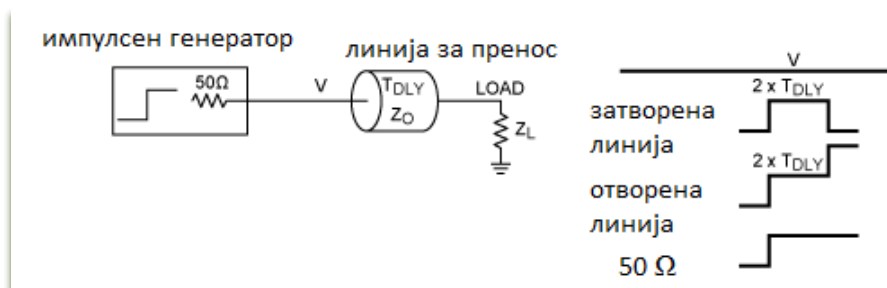
**Пример:** Етернет комуникација преку UTP бакарен кабел со максимално растојание од 100 метри помеѓу компјутерот и прекинувачкиот јазол предизвикува доцнење на пропацијата на сигналот од:



Максимално доцнење на пропација  $\approx 100 \text{ m} / (200\,000\,000 \text{ m/s}) = 0,5 \text{ }\mu\text{s}$

За мерење на времето на доцнење на пропацијата на сигналот често се користи TDR рефлектометар.

При употреба на TDR се праќа брз висок импулсен сигнал низ водот и се набљудува неговата рефлексива. За создавање на импулсниот сигнал се користи генератор на импулси. Рефлексивата на сигналот ја покажува импедансата долж сигналната патека, но и доцнењето на пропацијата  $T_{DLY}$  кое се појавува поради секоја промена на импедансата.



Сл. 6.44 Мерење време на пропација на сигнал

### 6.2.2.7 МЕРЕЊЕ ДОЛЖИНА НА ВОД

Уредот за мерење должина на вод од слика 6.45 ја одредува должината на секој тип на бакарен кабел, на пример, мрежни кабли, антенски кабли (коаксијални) и стандардни електрични кабли.



Сл. 6.45 Уред за мерење должина на вод



Сл. 6.46 Мерење должина на вод

Со интегрираниот TDR рефлектометар, уредот ја мери должината на кабелот до неговиот крај или растојанието до точката на пречки (на пример, прекин на кабелот, прицврстување на кабелот или куса врска). Бидејќи речиси секогаш овие уреди имаат неколку функции, потребно е да се одбере функцијата за мерење должина на кабел и да се избере видот на кабелот кој се мери. Приклучувањето се врши како на слика 6.46.

Постојат различни уреди за мерење должина на вод со различни можности и мерни постапки, па при избор на мерниот уред секогаш треба да се прочита спецификацијата дадена од производителот.

### 6.2.2.8 МЕРЕЊЕ ИМПЕДАНСА НА ВОД

За мерење импеданса на коаксијален кабел со помош на LCR уред постапката е кратка и едноставна:

1. BNC приклучоците H<sub>prot</sub> и H<sub>cur</sub> на уредот од слика 6.47 се поврзуваат со штитот на коаксијалниот кабел, а приклучоците L<sub>prot</sub> и L<sub>cur</sub> се поврзуваат со централниот спроводник на кабелот.



Сл. 6.47 LCR метар за мерење импеданса на вод

2. Импедансата на кабелот се мери со отворање на едниот крај за да се добие импедансата  $Z_0$ , и кусо врзување на другиот крај за да се добие импедансата  $Z_s$ . Потоа, импедансата на кабелот се пресметува со формулата:

$$Z = \sqrt{Z_0 \cdot Z_s} \dots\dots\dots(6.3)$$



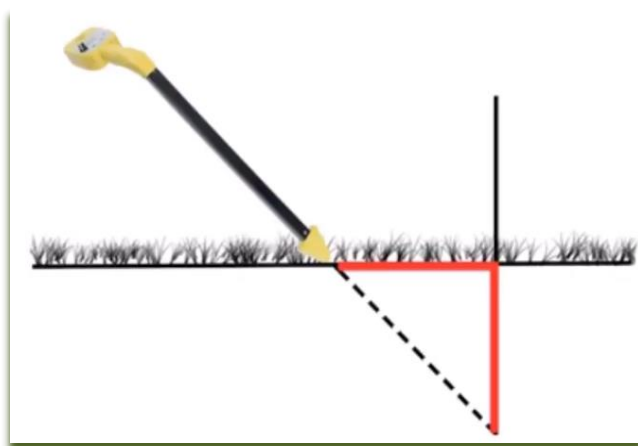
### 6.2.2.9 ЛОЦИРАЊЕ ВОДОВИ



Сл. 6.48 Локатор на жичени подземни водови

За лоцирање подземни жичени водови со употреба на кабелскиот локатор од слика 6.48, постапката е крајно едноставна: со насочување кон земјата се врши пребарување сè додека уредот генерира звучен сигнал; кога сигналот се губи, тоа значи дека локаторот се наоѓа над подземен вод; постапката се повторува од повеќе страни заради потврда на локацијата, таканаречена нул-метода.

За одредување на длабочината на водот се користи постапката на триангулација, која е прикажана на слика 6.49. При ваква поставеност на локаторот, кога престанува да произведува звучен сигнал, растојанието од локаторот до точката над водот и од таа точка до водот се еднакви. Со мерење на тоа растојание се добива длабочината на поставеност на водот.



Сл. 6.49 Триангулација за одредување длабочина на подземен вод



- ❖ Комуникациските инсталации се користат за размена на информации на далечина.
- ❖ Секоја комуникациска инсталација се состои од предавател, приемник и преносен медиум.
- ❖ Фреквенциски опсег претставува разлика помеѓу највисоката и најниската фреквенција што може да се пренесе.
- ❖ Слабеењето е најмало кај оптичките влакна, а најголемо кај водовите со впредени парици.
- ❖ Интерференција е меѓусебно влијание на сигналите на фреквенции кои се преклопуваат.
- ❖ За жичени инсталации се користат водови со впредени парици, коаксијален кабел, оптички кабел.
- ❖ LAN кабелот е составен од бакарни впредени парици и се користи за поврзување на корисничките уреди на интернет.
- ❖ Мерењата на отпорот на заземјување се користат за проверка на исправноста на делот од инсталацијата кој се однесува на заземјувањето.
- ❖ Рефлектометар е мерен уред кој се користи за лоцирање и дефинирање дефекти во кабли со впредени парици или во коаксијален кабел.
- ❖ LCR метар е уред за мерење импеданса на вод.
- ❖ Кабелските локатори се инструменти кои се користат за откривање сидни и подземни инсталации.
- ❖ Мултифункционалните инструменти имаат интегрирани функции и се користат за различни мерења во комуникациската инсталација.
- ❖ Импулсната метода е заснована на мерење на времето на пропација на пулсот за тестирање, од почеток на кабелот до местото на оштетување и назад.
- ❖ Куса врска е контакт меѓу спроводниците во парицата.
- ❖ Мапирање водови е утврдување на трасата по која се протега кабелот.
- ❖ Слабеењето на линијата го намалува корисниот сигнал и ја намалува брзината на пренос на податоците.
- ❖ Време на пропација на сигнал е временскиот период од почетокот до крајот на преносот на пораката.
- ❖ Мерење импеданса се врши најчесто со LCR метар и рефлектометар.



## Прашања за утврдување на знаењата од Модуларна единица 6



1. Што е електрична инсталација?
2. Кои правила треба да се почитуваат при проектирање и изведба на електрична инсталација?
3. Како се делат инсталациите според јачина на струја?
4. Како се делат инсталациите според намената?
5. Опиши ја поделбата на инсталациите според објектите.
6. Кои се основни елементи во една електрична инсталација?
7. Од што се состои еден вод во електрична инсталација?
8. Од кој материјал најчесто е жицата во електричните инсталации?
9. Која е улогата на изолацијата кај водови?
10. Кој материјал се користи за изолација кај водови?
11. Помеѓу кои спроводници се мери отпорност на изолација?
12. Колку треба да е отпорноста на изолација за инсталации со номинален работен напон од 500 V?
13. Под кои услови се мери отпорност на изолација на цела инсталација?
14. Како се приклучуваат каблите на инструментот доколку се мери отпорност на изолација помеѓу фазниот и нулниот спроводник?
15. Од што е составена заземјувачката инсталација?
16. Што значи еквипотенцијално спојување?
17. Што се паралелни гранки во заземјувачката инсталација и кои проблеми можат да ги предизвикаат?
18. Дали паралелните гранки се исклучуваат при мерењето?
19. Помеѓу кои елементи од инсталацијата се врши тестот за непрекинатост на заземјувачкиот спроводник?
20. Опиши го тестирањето на непрекинатост на заземјувачката инсталација.
21. Како се испитува спој со земја?
22. Како се испитува куса врска во кабел?
23. Како се испитува прекин на кабел?
24. Што е комуникациска инсталација?
25. Од кои елементи се состои секоја комуникациска инсталација?
26. Какви водови се користат во комуникациската инсталација?

27. Каков вид на вод се користи за поврзување на уредите на интернет пристап?
28. Од кој материјал се изградени жиците кај водови со впредени парици?
29. Зошто се врши впредување на парици?
30. Наброј ги и објасни ги видовите водови со впредени парици.
31. Која брзина на пренос на податоци може да се постигне кај кабли со впредени парици од Cat 6?
32. Од што е составен еден коаксијален кабел?
33. Наведи ги типовите на коаксијални кабли што се користат во компјутерските мрежи.
34. Кои се главни карактеристики на оптички кабли?
35. Наведи ги составните елементи на оптичко влакно.
36. Што се мултифункционални уреди?
37. За какви мерења се користи рефлектометарот?
38. Што се мери со LCR метар?
39. Објасни што е мапирање водови.
40. Што е импулсна метода?
41. Какви уреди се користат за мерење должина на вод?
42. Што е време на пропација на вод?



## ТЕМАТСКО УТВРДУВАЊЕ

### I Прашања со заокружување (Заокружи ги точните одговори)



1. Електрични инсталации за низок напон се оние инсталации чиј номинален напон е:  
А) помал од 500 V  
Б) помал од 1000 V  
В) помал од 50 V
2. Телекомуникациските инсталации се инсталации за:  
А) висок напон  
Б) низок напон  
В) мал напон
3. Во ознаката на МКС стандардите за електротехниката се користи буквата:  
А) Н  
Б) X  
В) М
4. Како тестер на заземјување најчесто се користи уредот:  
А) инструмент за мерење отпорност  
Б) кабелски тестер  
В) рефлектометар
5. RCD склопката е:  
А) прекинувач  
Б) осигурувач  
В) заштитен уред
6. Отпорноста на изолација за номинален напон до 250 V не смее да биде помала од:  
А) 1,0 MΩ  
Б) 1,0 kΩ  
В) 0,5 MΩ

7. STP вод е парица:

- A) со оклоп
- B) без оклоп
- B) со алуминиумска фолија

8. Оптичкиот кабел содржи најмалку:

- A) четири оптички влакна
- B) две оптички влакна
- B) едно оптичко влакно

9. Куса врска може да се испита со уредот:

- A) рефлектометар
- B) кабелски локатор
- B) LCR метар

10. Мерењето на слабењето на сигналот секогаш се врши со:

- A) еден мерен уред
- B) четири мерни уреди од различен тип
- B) два мерни уреди од ист тип

11. За да не постои рефлексија по должината на водот, приклучените уреди на краевите на линијата мора да се со импеданса:

- A) еднаква на карактеристичната импеданса на водот
- B) помала од карактеристичната импеданса на водот
- B) поголема од карактеристичната импеданса на водот

12. За мерење на времето на пропација на сигналот низ водот најчесто се користи:

- A) LCR метар
- B) кабелски тестер
- B) рефлектометар

## II Прашања со дополнување

1. Според висината на номиналниот напон електричните инсталации се делат на \_\_\_\_\_ и \_\_\_\_\_.
2. Според намената електричните инсталации се делат на \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ и \_\_\_\_\_.

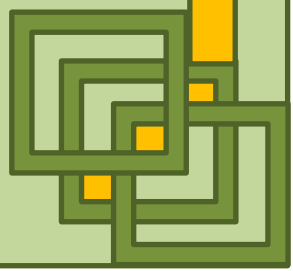


3. Во нашата држава се применуваат \_\_\_\_\_ стандардите.
4. За електротехниката во ознаката на стандардот се користи буквата \_\_\_\_\_.
5. Задача на заштитните уреди во електричните инсталации е да се \_\_\_\_\_ при струја поголема од номиналната работна струја.
6. Напон на допир е напон меѓу две \_\_\_\_\_ површини.
7. Заштитниот уред на диференцијална струја се користи за автоматско исклучување на \_\_\_\_\_.
8. Исправноста на RCD склопката се тестира со помош на \_\_\_\_\_.
9. Тестерот за заземјување, всушност, е \_\_\_\_\_.
10. Заштитните спроводници ги поврзуваат металните делови изложени на допир со \_\_\_\_\_.
11. Цел на мерењето на непрекинатост на електрична инсталација е да се провери \_\_\_\_\_ на заштитните спроводници и еквипотенцијалните врски.
12. Дозволената вредност за отпорот на изолација на инсталација со номинален работен напон до 250 V треба да е \_\_\_\_\_.
13. Комуникациската инсталација се состои од \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ и \_\_\_\_\_.
14. Брзината на пренос во комуникациски водови се изразува во \_\_\_\_\_.
15. За изработка на спроводниот дел во водовите со впредени парици се користи \_\_\_\_\_.
16. Водот без метална обвивка е \_\_\_\_\_ парица.
17. LAN кабелот се изработува од \_\_\_\_\_.
18. За мерење импеданса на вод најчесто се користи \_\_\_\_\_.
19. За проверка на непрекинатост на вод најчесто се користи мерниот уред \_\_\_\_\_.
20. За откривање локација на сидна инсталација се користи \_\_\_\_\_.
21. Куса врска на вод е контакт на жиците во \_\_\_\_\_.
22. Мапирање водови се врши за \_\_\_\_\_.
23. Слабењето на линијата влијае врз односот \_\_\_\_\_.
24. Преслушувањето FEXT е спојување на енергијата од две кола на \_\_\_\_\_ од врската.
25. Замената на париците при мерење на NEXT слабење \_\_\_\_\_ врз резултатот од мерењето.
26. Доцнење пропагација на сигнал е времетраењето потребно за сигналот да стигне до \_\_\_\_\_.
27. За мерење должина на вод најчесто се користи \_\_\_\_\_.

### III Задачи:

1. Пресметај го времето за пренос на пакет ако брзината е 120 Mbit/s Ethernet, а големината на пакетот изнесува 763 В.
2. Определи ја големината на пакетот ако брзината за пренос изнесува 200 Mbit/s Ethernet, а времето за пренос на пакетот изнесува 100  $\mu$ s.

# ВЕЖБИ



Во лабораторијата/кабинетот ќе се користи соодветна опрема за изведување на вежбите.



1. **Сигнал генератор** – генерира различни бранови форми, со нагодување на нивната амплитуда, фреквенција и средна вредност.

2. **Извор за напојување** – се користи за напојување на електричните кола, кои се предмет на испитување во вежбите, со еднонасочен напон. Нагодениот излезен напон, како и излезната струја, можат да се видат на дисплејот на изворот.



3. **Универзален инструмент** – инструмент со напојување од батерија, кој со конфигурација на приклучоците и соодветна положба на преклопката за мерно подрачје има функција на волтметар, амперметар и омметар. Треба да се внимава при примена на инструментот како амперметар, во колото да не се поврзува како волтметар.

4. **Осцилоскоп** – се користи за визуелно следење на сигналот во временски домен, како и за визуелно следење функционални зависимости на два сигнала.



5. **Кримп клешта** - рачна алатка за монтирање модуларни конектори, најчесто RJ45 и RJ11, како и за соголнување на изолацијата и сечење кабел. Погодна е за формирање ISDN и UTP компјутерски мрежи.



## ПРИМЕНА НА МКС СТАНДАРДИ И ЗАШТИТА ПРИ РАБОТА

Во однос на заштитата на околината и заштитата при работа во нашата држава се применуваат меѓународните стандарди ISO4001 и ISO45001.

**ISO4001** е интернационален стандард кој ги дефинира параметрите кои се неопходни за еден функционален систем за управување со заштита на животната средина. Цели на овој стандард се:

- Спречување на штетни влијанија врз животната средина;
- Намалување на потенцијални ризици од загадување, намалување на отпад, заштеда на енергија;
- Преземање соодветни мерки за заштита на животната средина.

**ISO45001** е стандард кој им овозможува на организациите управување со здравствените и сигурносните аспекти на деловните дејности, внимателно водејќи сметка за спречување незгоди, намалување на ризикот, благосостојба на работникот.

Целта на стандардот ISO45001 е спречување или намалување на повредите на работното место и подобрување на работните услови. Со оглед на областа во која учениците треба да работат, ќе го нагласиме и стандардот ISO50001, кој се однесува на управувањето со енергијата.

**ISO50001** стандардот детално ги определува барањата за систем за управување со енергијата, кој на организацијата ѝ овозможува да развие и да изведува политики и цели што ги почитуваат законските барања и информации за значајните енергетски аспекти. Целта на овој стандард е да помага на организациите да воспостават систем од процедури и постапки кои се потребни за подобрување на енергетската ефикасност.

Системското управување на енергијата најмногу придонесува во намалувањето на трошоците за енергија и во намалување на емисиите на гасови кои предизвикуваат ефект на стаклена градина.

**Струен удар** претставува збир од ефекти на електричната струја кога човекот е дел од струен круг и низ него поминува електрична струја. Ефектите, покрај оштетување делови од човековиот организам, можат да бидат и со смртни последици.

Човечкото тело е добар спроводник на електрична струја, затоа што телесната течност во клетките и околу нив е вид на електролит што ја спроведува електричната струја. Како спроводник и за него важи Омовиот закон. Електричниот отпор на човечкото тело во различни делови е различен. Внатрешните органи имаат многу помал електричен отпор отколку кожата. Исто така, влажната кожа има помал отпор од сувата. При сува кожа отпорот на човечкото тело е над  $10000 \Omega$ , а кога кожата е влажна под  $1000 \Omega$ . Многу е опасно кога електричната струја минува низ срцето и низ мозокот. Јачината на електричната струја над  $10 \text{ mA}$  предизвикува силно грчење на мускулите и притоа се губи контролата над нив. Ако се фатиме со рака за оштетен спроводник, постои опасност да не можеме да се ослободиме од него. При јачина од  $100$  до  $200 \text{ mA}$  грчењето на мускулите е толку силно што срцето може да престане со својата работа. При оваа јачина на електрична струја се јавуваат и големи тешкотии во дишењето.

Заземјувањето е ефикасна заштита од струен удар. За заштита од струен удар најосновно е никогаш да не се допре незаштитен спроводник, којшто е дел од електрично струјно коло. Меѓутоа, како дополнителна заштита скоро кај сите апарати и уреди е заземјувањето на надворешните метални делови. Тоа заземјување се вика заштитно заземјување и спречува појава на напон на допир (анализирани се во Модуларна единица б).

**Заштитата од струен удар** во лабораторија или просторија наменета за изведување практични вежби и постапки за мерење подразбира:

- При секоја работа со опрема која е под напон треба да се запазат сите чекори кои се неопходни за заштита од струен удар;
- Лицата/учениците кои работат мора да ги запазат насоките од одговорниот наставник и правилата и процедурите на однесување во лабораторија;
- Треба добро да се познава опремата и нејзината техничка документација;
- Пред работа на вежбите се врши проверка на состојбата на уредите, односно се проверува дали нивната изолација е во исправна состојба и нема оштетување, и се постапува исклучиво според инструкциите на одговорниот наставник.
- При секоја работа со висок напон за неа се бара дозвола од одговорниот наставник.



## ВЕЖБА 1

### МЕРЕЊЕ ЕДНОНАСОЧЕН И НАИЗМЕНИЧЕН НАПОН СО АНАЛОГЕН УНИМЕР

**Цел на вежбата:** Мерење еднонасочен и наизменичен напон со аналоген инструмент; одредување константа и отчитување резултат на скала.

**Упатство:** Инструментот ќе работи како волтметар со поставување на големиот кружен преклопник на областа означена со буквата V. Во зависност од тоа дали се мери еднонасочен или наизменичен напон малиот прекинувач се поставува лево или десно на соодветната ознака (= или  $\approx$ ). Мерењето мора да започне од најголемото мерно подрачје. На овој начин се спречува уништувањето на инструментот, што лесно може да се случи доколку мерењето се започне на мало подрачје, а напонот е поголем од очекуваниот. Во тој случај покажувачот нагло ќе се заврти, па може да се искриви или да испадне од носачот. Осигурувачот (доколку има) и заштитните диоди не се секогаш доволно безбедна заштита. Ако отклонот на стрелката е мал или воопшто не се забележува, подрачјето постепено се намалува додека стрелката не се отклони доволно за да овозможи нормално читање. Се избира скалата на која ќе се чита, се одредува константата на инструментот и се отчитува отклонот на стрелката. Бројот на поделоци се множи со константата и се добива измерениот напон. Врз основа на добиениот резултат се заклучува дали мерното подрачје може дополнително да се намали. Ако се мери DC напон, точката на поголем потенцијал (или, на пр., + на батерија) мора да се поврзе на +VAΩ врската. Доколку се направи грешка, стрелката ќе се сврти на погрешната страна (лево). При мерење AC напон нема потреба да се внимава на приклучоците, бидејќи исправувачот во инструментот обезбедува покажувачот секогаш да се врти надесно. Волтметарот се поврзува паралелно со елементот на кој се мери напонот. Внатрешниот отпор на волтметарот е многу голем (идеално бесконечен), така што практично низ волтметарот не тече струја.

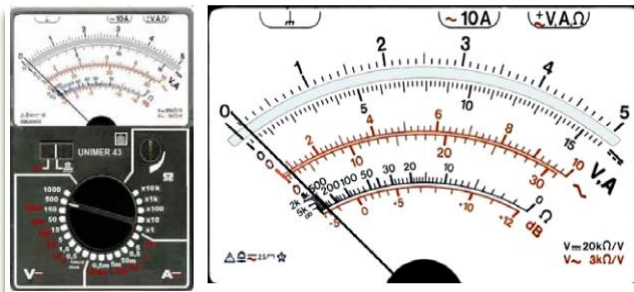
#### Прибор:

- \* аналоген унимер;
- \* 2 сонди-тест кабли (1 црвен и 1 црн);
- \* акумулатор.

## I Мерење еднонасочен напон на акумулатор (сл.1)



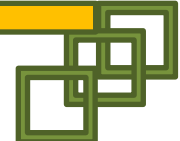
Сл. 1



Сл. 2

1. Се започнува со мерно подрачје 1000 V, отклонот воопшто не се забележува.
2. Се намалува на мерно подрачје 500 V (сл.2) се избира скалата со 5 поделоци, константата е 100 V/поделок. Се отчитува нешто повеќе од 0,1, но тешко е да се процени дали е 0,11; 0,12 или 0,13. Кога ќе се помножи со 100, резултатот може да биде помеѓу 11 V и 13 V, што зависи од субјективното оценување. Очигледно е дека не може да се направи точно мерење во оваа област, па затоа повторно се намалува опсегот.
3. Постапката од точка 2 се повторува за мерните подрачја 150, 50, 15 и 5 V. Сите вредности за константата, бројот на поделоци и измерениот еднонасочен напон се запишуваат во следната табела:

Мерно подрачје (V)	Константа (V/под)	Број на поделоци	Измерен напон (V)
1000	/	/	/
500	100	0,1	11-13
150			
50			
15			
5			



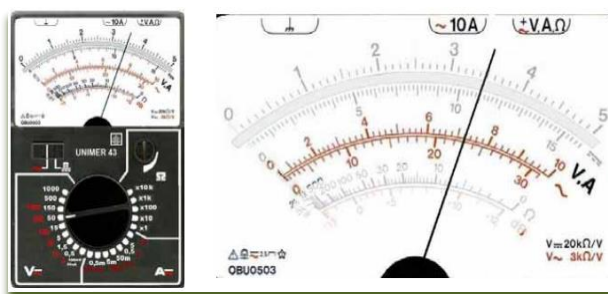
**Забелешка:** При мерење напон на акумулатор или батерија се препорачува да бидат оптоварени со некој потрошувач. За оптоварување на акумулаторот доволно е да се вклучат светлата на автомобилот.

## II Мерење наизменичен напон во куќен приклучок (сл.3)

**Упатство:** Тест каблите (сондите) се добро изолирани, така што нема ризик од струен удар – се разбира, ако не се допрат металните врвови на сондите (сл. 3). Напонот во приклучницата е наизменичен, така што малиот прекинувач мора да се помести налево. Ознаката  $\approx$  е црвена, што значи дека при мерење наизменични големини се користат црвените скали на инструментот.



Сл. 3



Сл. 4

1. Најголемо мерно подрачје е 1000 V и се започнува со него. Се избира црвената скала со 10 поделоци, константата е 100 V/поделок, и се отчитуваат 2,2 поделоци, т.е. 220 V.
2. Постапката од точка 1 се повторува за помалите мерни подрачја (сл. 4) и резултатите се запишуваат во табелата подолу.

Мерно подрачје (V)	Константа (V/под)	Број на поделоци	Измерен напон (V)
1000	100	2,2	220

**Забелешка:** Треба да се има предвид дека отстапувањата на напонот на градската мрежа се дозволени до 10 %.

**Анализирај:** Што се случува кога ќе се заменат сондите на инструментот? Зошто е тоа така? Дали е препорачливо и потребно да се врши мерење на подрачје помало од очекуваната вредност?

## ВЕЖБА 2

### МЕРЕЊЕ НАПОН СО ДИГИТАЛЕН МУЛТИМЕТАР

**Вовед:** При одржување или поправка на машините мора да се измерат нивните електрични карактеристики. Најчесто користен инструмент за оваа намена е дигиталниот мултиметар (DMM). За точна проверка на карактеристиките на колото, мерењето и отчитувањето на резултатите мора да се извршат прецизно.

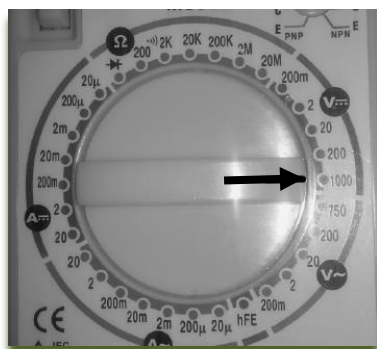
**Цел на вежбата:** Мерење напон со дигитален мултиметар.

#### Прибор:

- \* стабилизирани извор на DC напон;
- \* дигитален мултиметар;
- \* 2 сонди-тест кабли (1 црвен и 1 црн).

#### I Начин на мерење

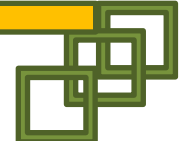
1. Се вклучува мултиметарот.
2. Преклопникот се поставува за мерење DC напони.
3. Се поставува на највисокото мерно подрачје, 1000 V (сл. 5).
4. Каблите на инструментот се поврзуваат со соодветните приклучоци на мултиметарот (сл. 6). Црниот тест кабел треба да се поврзе со COM или приклучокот за заземјување. Црвениот тест кабел треба да се поврзе со приклучокот V/ $\Omega$ .



Сл. 5



Сл. 6



5. Се вклучува изворот и се нагодува на 10 V. Напонот што се прикажува на екранот на изворот како излезен напон (сл. 7) се запишува во табелата подолу.
6. Тест каблите на инструментот се поврзуваат со излезните приклучоци на изворот, сл. 8. Црниот тест кабел се поврзува со црниот или (-) приклучок. Црвениот тест кабел се поврзува со црвениот или (+) приклучок. Подрачјето и отчитаниот напон на DMM се запишуваат во табелата подолу.



Сл. 7



Сл. 8

7. Преклопникот се поставува на ново подрачје 200 V. Подрачјето и напонот што се отчитува на DMM за истиот напон од изворот се запишуваат во табелата.
8. Преклопникот се поставува на следно помало подрачје 20 V. Подрачјето и напонот што се отчитува на DMM за истиот напон од изворот се запишуваат во табелата.
9. Се повторува постапката од точка 5 до точка 8 со нагодување на друг напон на стабилизираниот извор. Резултатите се запишуваат во табелата.

Излезен напон на извор=		Излезен напон на извор=	
<b>U<sub>mp</sub>=1000 V</b>	U <sub>dmm</sub> =	U <sub>mp</sub> =	U <sub>dmm</sub> =
<b>U<sub>mp</sub>=200 V</b>	U <sub>dmm</sub> =	U <sub>mp</sub> =	U <sub>dmm</sub> =
<b>U<sub>mp</sub>=20 V</b>	U <sub>dmm</sub> =	U <sub>mp</sub> =	U <sub>dmm</sub> =
<b>U<sub>mp</sub>=2 V</b>	U <sub>dmm</sub> =	U <sub>mp</sub> =	U <sub>dmm</sub> =

### Анализирај:

- ❖ Објасни ја точноста на прикажаните вредности додека го намалуваше мерното подрачје на преклопникот на мултиметарот.
- ❖ Објасни го резултатот кога се обиде да го измериш напонот на мерно подрачје, кое е помало од вредноста на излезниот напон на изворот.
- ❖ Објасни зошто постапката се започнува од најголемото мерно подрачје на инструментот.

### II промена на поларитет

1. Се заменува поларитетот на тест каблите поврзани со изворот на напон. Се поврзува црниот тест кабел со (+), односно со црвениот приклучок на изворот, а црвениот тест кабел со (-), односно со црниот приклучок на изворот (сл. 9).



Сл. 9

2. Се вклучува напојувањето и се приспособува на 5 V. Се запишува измерената вредност \_\_\_\_\_.
3. Повторно се заменува поларитетот на тест каблите. Се запишува измерената вредност \_\_\_\_\_.

**Анализирај:** Што се промени во измерената вредност на мултиметарот при промена на поларитетот на тест каблите?

**Забелешка:** По завршување на секое мерење, тест каблите на мултиметарот се отстрануваат од приклучоците на изворот на напон, се исклучува изворот и инструментот.



### ВЕЖБА 3

## МЕРЕЊЕ ЕДНОНАСОЧНИ НАПОНИ ВО РЕДНА И ПАРАЛЕЛНА ВРСКА

#### Цел на вежбата:

1. Мерење на напоните на четири батерии/извори на еднонасочен напон.
2. Мерење на напонот на редна врска на батериите/извори напон.
3. Мерење паралелна врска на батериите/извори на напон.

#### Прибор:

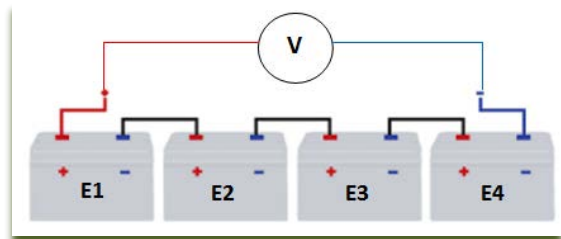
- \* 4 еднакви или различни батерии/извори на еднонасочен напон;
- \* дигитален мултиметар (DMM);
- \* приклучни спроводници.

#### Постапка:

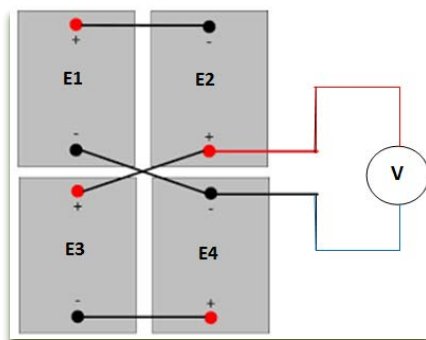
1. Секој извор на напон се приклучува поединечно на дигитален мултиметар. Преклопникот на инструментот и тест каблите се поставуваат за мерење еднонасочен напон и се одбира мерно подрачје кое одговара на избраните извори. Измерените вредности се запишуваат во табелата.

Извор на напон	Мерно подрачје (V)	Измерен напон (V)
E1		
E2		
E3		
E4		
Редна врска		
Паралелна врска		

2. Изворите се поврзуваат во серија и се приклучува волтметарот како на сл. 10. Измерената вредност се запишува во табелата.



Сл. 10



Сл. 11

3. Изворите се поврзуваат во паралелна врска и се приклучува волтметарот како на сл. 11. Измерената вредност се запишува во табелата.
4. Се врши повторно мерење на поединечните извори/батерии и отчитаните вредности се споредуваат со почетните.
5. Мерењата може да се повторат со употреба на аналоген универзален инструмент, па во тој случај треба да се запишат и вредностите за бројот на поделоци на отклонот и константата на инструментот.

**Забелешка:** Доколку за вежбата се користат батерии, мерењата од точка 4 ќе бидат различни од почетните вредности. Причина е празнењето на батериите при мерењето, кога тие се поврзани паралелно.



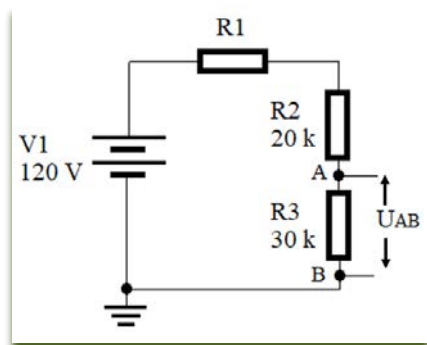
## ВЕЖБА 4

### ВЛИЈАНИЕ НА ВОЛТМЕТАР ВРЗ МЕРЕНИТЕ ВРЕДНОСТИ

**Цел на вежбата:** Внатрешната отпорност на волтметарот делумно ја менува вредноста која се мери. Иако тој треба да има многу голема влезна отпорност, сепак, таа влијае врз мерената вредност. Вежбата овозможува споредба на очекуваните вредности од пресметката на колото и измерените вредности.

#### Прибор:

- \* извор на еднонасочен напон V1 (120 V);
- \* отпорници R1, R2, R3 (сл. 12);
- \* унимер;
- \* 2 сонди-тест кабли (1 црвен и 1 црн);
- \* приклучни спроводници или протоборд.



Сл. 12

#### Постапка:

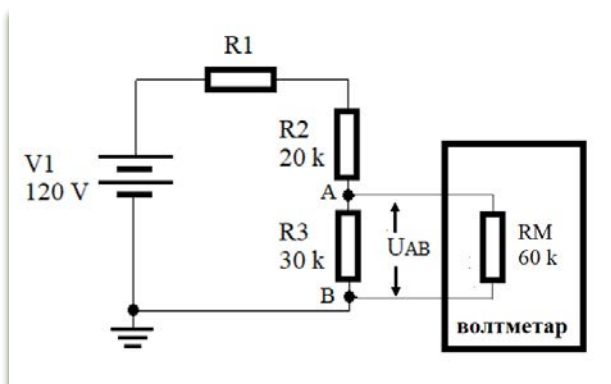
1. Се вршат пресметки за колото, односно падот на напон на секој отпорник поединечно. Резултатите од пресметките се:

$$U_{R1} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$U_{R2} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$U_{R3} = \underline{\hspace{2cm}}$$

2. Прелиминарните пресметки сугерираат дека напонот од точките А до В ќе биде 60 V. Ако претпоставиме дека волтметарот е со внатрешен отпор од 60 kΩ, и е поврзан преку точките А и В (сл. 13).



Сл. 13

3. Лесно може да се утврди, како што е прикажано подолу, дека новиот отпор помеѓу точките А и В е намален на 20 kΩ.

$$R_{\text{вк}} = \frac{R_M \cdot R_3}{R_M + R_3} = \frac{60 \cdot 30}{60 + 30} = 20 \text{ k}\Omega$$

**Заклучок:** Разликата помеѓу отпорот на гранката без приклучен волтметар и со него е 10 kΩ, што, секако, е значајно. Користејќи ја формулата за делител на напон може да се види дека волтметарот дава значително различен напон од она што се очекуваше преку прелиминарните пресметки.

$$V_{AB} = \frac{20}{10 + 20 + 30} \cdot 120 = 48V$$

**Забелешка:**

1. При реализација на вежбата пресметките за вкупната отпорност се вршат со внатрешниот отпор на употребениот инструмент.
2. Се забележува дека напонот  $V_{AB}$  се менува доколку некој конечен отпор е поврзан на точките А и В. Оптоварувањето од волтметарот се случува секогаш и прашање е само неговата големина.



## ВЕЖБА 5 ПРОВЕРКА НА ПРВ КИРХОФОВ ЗАКОН

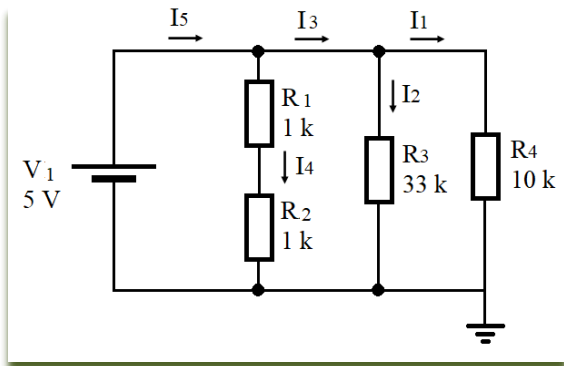
**Цел на вежбата:** Мерење струја со дигитален инструмент и проверка на Прв Кирхофов закон.

**Упатство:** Амперметарот се поврзува редно во колото. Внатрешниот отпор на амперметарот идеално е еднаков на нула, а во реалноста е многу мал, така што не ја менува состојбата на колото. Унимерот ќе работи како амперметар со поставување на големиот преклопник на областа означена со буквата А. Мерењето започнува од најголемото мерно подрачје, кое потоа се намалува доколку е потребно. Малиот прекинувач се поставува на соодветната ознака за видот на струјата што се мери. Ако има потреба да се намали подрачјето прво мора да се прекине струјата со прекинувачот или со исклучување на напојувањето, а потоа преклопникот се поместува на друго мерно подрачје (во спротивно, инструментот ќе се оштети).

### Прибор:

- \* извор на еднонасочен напон  $V_1$  (5 V);
- \* отпорници (сл. 14);
- \* унимер;
- \* 2 сонди-тест кабли (1 црвен и 1 црн);
- \* приклучни спроводници или протоборд.

### I Мерење на струите $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5$ во колото на сл. 14



Сл. 14

1. Се прекинуваат последователно гранките каде струите  $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5$  треба да се мерат и се приклучува мултиметарот. Се отчитуваат струите и сите вредности се запишуваат во табелата подолу.
2. Се врши споредба на измерените вредности за струите со оние што претходно се пресметани за даденото коло.
3. Се пресметува односот  $R_{in} = V_1/I_5$  (Забелешка: Овој однос за напонот и влезната струја се нарекува влезен отпор, што претставува отпор кој го „гледа“ изворот на напон).

$$R_{in} = \underline{\hspace{2cm}}$$

**Анализирај:** Спореди ја струјата  $I_5$  со збирот на струите  $I_3 + I_4$ . На кој закон се однесува нивната релација? Дали измерените вредности се совпаѓаат со пресметаните? Објасни.

### II Мерење на струите $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5$ со исклучен $R_4$

Се исклучува еден од приклучоците на отпорникот  $R_4$  во колото на сл. 14 (создавање отворена гранка) и се повторуваат мерењата од точка 1.

	I дел (со поврзан $R_4$ )		II дел (со исклучен $R_4$ )	
	Пресметани вредности	Измерени вредности	Пресметани вредности	Измерени вредности
$I_1$				
$I_2$				
$I_1+I_2$				
$I_3$				
$I_4$				
$I_3+I_4$				
$I_5$				

**Анализирај:** Коментирај за вредностите на струите кога  $R_4$  е поврзан и исклучен во колото.

---



---



---



## ВЕЖБА 6 МЕРЕЊЕ СТРУЈА ВО КОЛО СО ПРОМЕНЛИВ ОТПОР

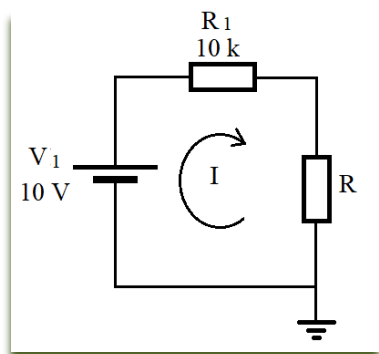
**Цел на вежбата:** Мерење струја со дигитален мултиметар; да се согледа влијанието на отпорноста во колото врз вредноста на струјата.

### Прибор:

- \* извор на еднонасочен напон  $V_1$  (10 V);
- \* отпорници (сл. 15 и точка 1);
- \* унимер;
- \* 2 сонди-тест кабли (1 црвен и 1 црн);
- \* приклучни спроводници или протоборд.

### Постапка:

1. Мерењата на струјата се вршат во редно поврзано коло (сл. 15). За да се обезбеди основа за споредба, прво се пресметуваат струите за различни вредности на отпорот  $R$ . Се добиваат следните резултати:



Сл. 15

$R = 0 \Omega$	$I =$ _____
$R = 5 \text{ k}\Omega$	$I =$ _____
$R = 10 \text{ k}\Omega$	$I =$ _____

2. За наведените вредности на отпорот  $R$  се врши мерење на струјата  $I$  во редното коло.

$R = 0 \Omega$	$I =$ _____
$R = 5 \text{ k}\Omega$	$I =$ _____
$R = 10 \text{ k}\Omega$	$I =$ _____

**Анализирај:** Дали пресметаните и измерените вредности се еднакви? Зошто е тоа така?

## ВЕЖБА 7

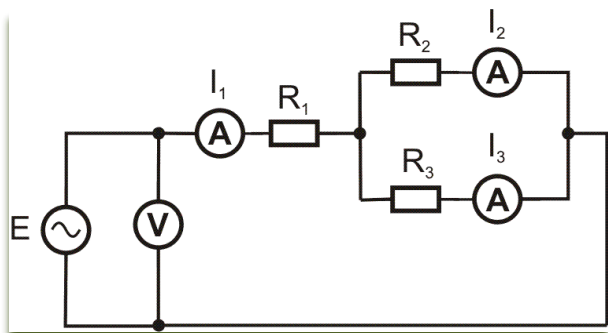
### МЕРЕЊЕ НАПОН И СТРУЈА НА КОМБИНИРАНА ВРСКА НА ОТПОРНИЦИ

**Цел на вежбата:** Мерење напон и струја во коло со наизменичен извор на напон.

#### Прибор:

- \* извор на наизменичен напон (генератор на функции);
- \* 1 АС волтметар;
- \* 3 АС амперметри;
- \* 3 отпорници;
- \* кабли за поврзување.

#### Постапка:



Сл. 16

1. Да се поврзат отпорниците, мерните инструменти – амперметри и волтметри и изворот на наизменичен напон според дадената шема на слика 16.
2. Ако инструментите се универзални мерни инструменти, тогаш преклопникот го поставуваме на наизменичен режим на работа и го избираме соодветното мерно подрачје.
3. Волтметарот го поврзуваме паралелно со изворот на наизменичен напон додека амперметрите редно со отпорниците. По поврзувањето се проверува дали колото е поврзано според дадената шема.



4. Се вклучува изворот и со волтметарот се мери наизменичниот напон, а со амперметрите струите низ отпорниците. Прочитаните вредности се запишуваат во дадената табела. Според Првиот Кирхофов закон кој гласи: Збирот на струите кои влегуваат во еден јазол е еднаков на збирот на струите кои излегуваат од тој јазол, се пресметува струјата низ првиот отпорник:

$$I_1 = I_2 + I_3$$

5. Според Омовиот закон се пресметува еквивалентната (вкупната) отпорност на колото:

$$R_e = \frac{U}{I_1}$$

како и поедините падови на напон на отпорниците:

$$U_{R1} = R_1 \cdot I_1, \quad U_{R2} = R_2 \cdot I_2, \quad U_{R3} = R_3 \cdot I_3$$

6. Да се запишат измерените и пресметаните резултати во табелата.

**Табеларен приказ на резултатите:**

Број на мерења	$R_1$ $\Omega$	$R_2$ $\Omega$	$R_3$ $\Omega$	$U$ $V$	$I_1$ $A$	$I_2$ $A$	$I_3$ $A$	$I_1=I_2+I_3$ $A$	$R_e$ $\Omega$	$U_{R1}$ $V$	$U_{R2}$ $V$	$U_{R3}$ $V$
1												
2												
3												

**Анализирај:** Дали пресметаните и измерените вредности се еднакви? Зошто е тоа така?

---



---



---

## ВЕЖБА 8

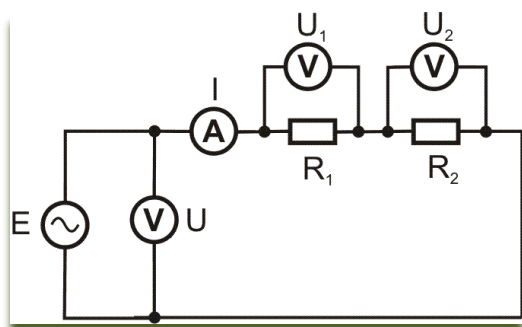
### ПРОВЕРКА НА ВТОР КИРХОФОВ ЗАКОН

**Цел на вежбата:** Мерење напон и струја во коло со наизменичен извор на напон и проверка на Втор Кирхофов закон.

#### Прибор:

- \* извор на наизменичен напон (генератор на функции);
- \* 3 АС волтметри;
- \* 1 АС амперметар;
- \* 2 отпорника;
- \* кабли за поврзување.

#### Постапка:



Сл. 17

1. Да се поврзат отпорниците, мерните инструменти – амперметри и волтметри и изворот на наизменичен напон според дадената шема на слика 17.
2. Ако инструментите се универзални мерни инструменти, тогаш преклопникот го поставуваме на наизменичен режим на работа и го избираме соодветното мерно подрачје.
3. Волтметрите ги поврзуваме паралелно на елементот чиј напон сакаме да го мериме, додека амперметарот редно.
4. По поврзувањето се проверува дали колото е поврзано според дадената шема.



5. Се вклучува изворот на напон и со волтметрите се мерат наизменичните напони, а со амперметарот струјата низ колото.
6. Прочитаните вредности се запишуваат во дадената табела.
7. Според Вториот Кирхофов закон кој гласи: Сумата на сите напони, падови на напон и електромоторни сили во затворено струјно коло е еднаква на нула, се пресметува напонот на редната врска на отпорниците.

$$U_{R1} = R_1 \cdot I, \quad U_{R2} = R_2 \cdot I$$

8. Според Омовиот закон се пресметува еквивалентната (вкупната) отпорност на колото:

$$R_e = \frac{U}{I}$$

9. Да се запишат измерените и пресметаните резултати во табелата.

**Табеларен приказ на резултатите:**

Број на мерења	$R_1$	$R_2$	$U_1$	$U_2$	$U$	$I$	$U=U_1+U_2$	$R_e$
	$\Omega$	$\Omega$	V	V	V	A	A	$\Omega$
1								
2								
3								

**Анализирај:** Спореди ја вредноста на напонот  $U$  со збирот на напоните  $U_1 + U_2$ . На кој закон се однесува нивната релација? Дали измерените вредности се совпаѓаат со пресметаните? Објасни.

---



---



---

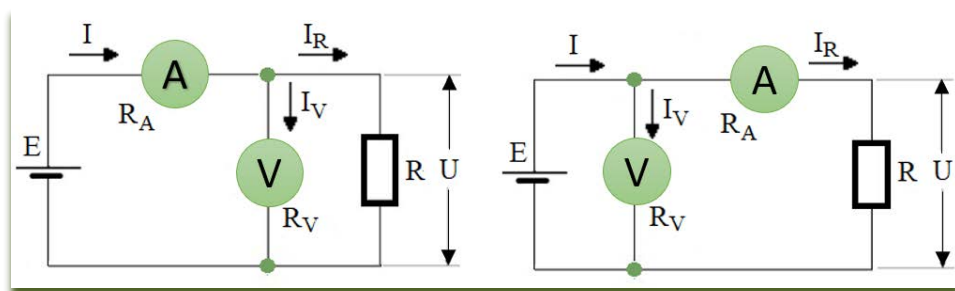
## ВЕЖБА 9

МЕРЕЊЕ ОМСКА ОТПОРНОСТ СО МЕРЕЊЕ НАПОН И СТРУЈА  
(U-I МЕТОДА)

**Цел на вежбата:** Запознавање со постапките за мерење непозната отпорност со напонска и струјна шема.

**Прибор:**

- \* извор на еднонасочен напон (батерија 9 V);
- \* отпорници – потрошувачи (33  $\Omega$ , 470 $\Omega$ , 10 k $\Omega$ );
- \* два мултиметра.

**Постапка:**

Сл. 18

1. Со преклопникот на едниот мултиметар, кој ќе се користи како амперметар, се избира мерно подрачје милиампери.
2. Преклопникот на вториот мултиметар, кој ќе се користи како волтметар, се поставува на мерно подрачје еднонасочен напон.
3. Се поврзува струен круг, сервиска врска на батеријата, амперметарот и потрошувачот.
4. Со поврзување на волтметарот паралелно со потрошувачот се добива првата шема (амперметар пред волтметар – напонска шема).
5. Со поврзување на волтметарот паралелно со батеријата се добива втората шема (волтметар пред амперметар – струјна шема).
6. Да се внесат прочитаните вредности од амперметарот и волтметарот во табела.



7. Врз основа на измерените вредности да се пресмета вредноста на отпорноста на потрошувачот според Омовиот закон:

$$R = \frac{U}{I}$$

8. Да се повтори вежбата за други вредности на потрошувачот и добиените вредности да се запишат во табелата.

Напонска шема	Rp <sub>1</sub> [Ω]	Rp <sub>2</sub> [Ω]	Rp <sub>3</sub> [Ω]	Струјна шема	Rp <sub>1</sub> [Ω]	Rp <sub>2</sub> [Ω]	Rp <sub>3</sub> [Ω]
Покажување на волтметарот	U <sub>1</sub> [V]	U <sub>2</sub> [V]	U <sub>3</sub> [V]	Покажување на волтметарот	U <sub>1</sub> [V]	U <sub>2</sub> [V]	U <sub>3</sub> [V]
Покажување на амперметарот	I <sub>1</sub> [mA]	I <sub>2</sub> [mA]	I <sub>3</sub> [mA]	Покажување на амперметарот	I <sub>1</sub> [mA]	I <sub>2</sub> [mA]	I <sub>3</sub> [mA]
Пресметана отпорност на потрошувачот	R <sub>1</sub> [Ω]	R <sub>2</sub> [Ω]	R <sub>3</sub> [Ω]	Пресметана отпорност на потрошувачот	R <sub>1</sub> [Ω]	R <sub>2</sub> [Ω]	R <sub>3</sub> [Ω]

### Анализирај:

Да се споредат добиените резултати при мерењето на непозната омска отпорност со U-I методата според двете шеми. Во кој случај се добиваат поточни резултати?

---



---



---

## ВЕЖБА 10

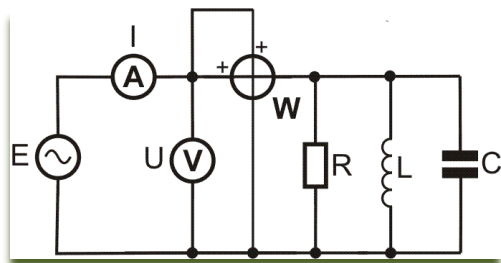
### МЕРЕЊЕ МОЌНОСТ НА ПАРАЛЕЛНА RLC ВРСКА

**Цел на вежбата:** Запознавање со постапките за мерење моќност со ватметар и U-I метода.

#### Прибор:

- \* извор на наизменичен напон;
- \* АС амперметар;
- \* АС волтметар;
- \* АС ватметар;
- \* отпорник;
- \* калем;
- \* кондензатор;
- \* кабли за поврзување.

#### Постапка:



Сл. 19

1. Да се поврзат отпорникот, калемот, кондензаторот, мерните инструменти и изворот на наизменичен напон според дадената шема на слика 19.
2. Ако инструментите се универзални мерни инструменти, тогаш преклопникот го поставуваме на наизменичен режим на работа и го избираме соодветното мерно подрачје.



3. По поврзувањето се проверува дали колото е поврзано според дадената шема.
4. Со волтметарот се мери напонот на паралелната RLC врска U, со амперметарот струјата низ паралелната RLC врска I, а со ватметарот активната моќност P.
5. Прочитаните вредности се запишуваат во дадената табела.
6. Мерењето се повторува за различни вредности на отпорник, калем и кондензатор.
7. Врз основа на прочитаните вредности се пресметува привидната моќност на паралелната RLC врска според релацијата:

$$S = U \cdot I \quad [VA]$$

додека реактивната моќност се пресметува со помош на активната и привидната моќност, според релацијата:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad \varphi = \arccos \frac{P}{S}$$

За вкупната, привидна моќност важи релацијата:

$$S = U \cdot I \cdot \cos \varphi + j \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi = P + j \cdot Q$$

**Табеларен приказ на резултатите:**

Број на мерења	R	L	C	U	I	P	S	Q	$\varphi$	f
	$\Omega$	H	F	V	A	W	VA	VAr	rad	Hz
1										
2										
3										

**Анализирај:**

Да се споредат добиените резултати при мерењето на моќност со U-I методата и со ватметар. Образложи ја разликата во добиените резултати!

---



---



---

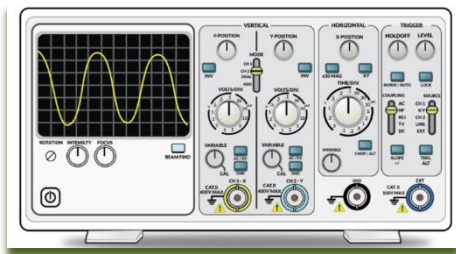
## ВЕЖБА 11

### МЕРЕЊЕ ПАРАМЕТРИ НА СИНУСЕН СИГНАЛ СО ОСЦИЛОСКОП

**Цел на вежбата:** Запознавање со постапките за мерење со аналоген осцилоскоп и со приказ на сигнал на екранот на осцилоскопот. Главна цел на оваа вежба е мерење на основните параметри на синусниот сигнал со осцилоскоп (фреквенција и амплитуда).

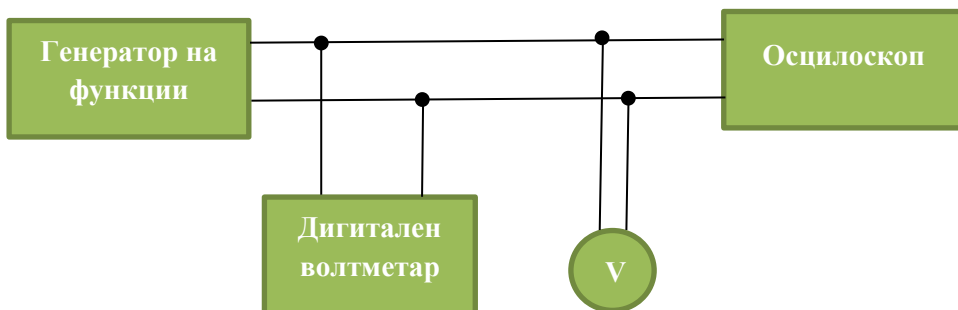
#### Прибор:

- \* аналоген волтметар;
- \* дигитален волтметар;
- \* аналоген осцилоскоп (сл. 20);
- \* генератор на функции.



Сл. 20

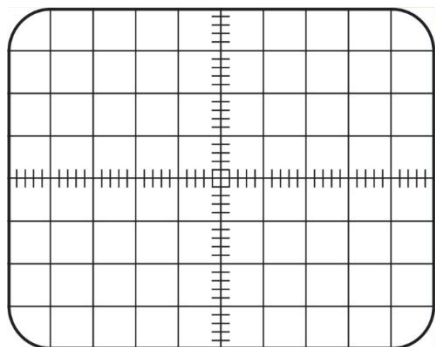
#### Постапка:



Сл. 21: Шема на поврзување на инструментите



1. Да се поврзат аналогниот и дигиталниот волтметар, генераторот на функции и осцилоскопот според дадената шема на слика 21.
2. Со помош на генераторот на бранови облици да се генерира сигнал со одредена фреквенција и амплитуда (на пр., фреквенција 1000 Hz и амплитуда 10 V).
3. Да се нацрта добиениот сигнал на екранот на осцилоскопот.



4. Да се одреди амплитудата на добиениот синусен сигнал.
  - Амплитудата на сигналот (од врв до врв) се пресметува како производ на вредноста на напонот на еден поделок на вертикалата на мрежата на екранот и бројот на поделоци по вертикала:  

$$U_{pp} = \text{_____ (V/div)} \times \text{_____ (div)} = \text{_____ (V)}$$
  - Максималната вредност на напонот се добива според:  

$$U_{max} = U_{pp}/2 = \text{_____ (V)}$$
  - Ефективната вредност на напонот се пресметува со релацијата:  

$$U = U_{max}/\sqrt{2} = \text{_____ (V)}$$
5. Со аналогниот волтметар да се измери ефективната вредност на сигналот.
  - Да се пресмета максималната вредност на измерениот напон  

$$U_{max} = \sqrt{2} \cdot U = \text{_____ (V)}$$
6. Со дигиталниот волтметар да се измери ефективната вредност на сигналот.
  - Да се пресмета максималната вредност на измерениот напон  

$$U_{max} = \sqrt{2} \cdot U = \text{_____ (V)}$$
7. Да се запишат измерените вредности во затемнетите ќелии, а пресметаните вредности во белите ќелии на табелата.

	Максимална вредност $U_{max}$ (v)	Ефективна вредност U (V)
Осцилоскоп		
Аналоген волтметар		
Дигитален волтметар		

8. Да се одреди периода на добиениот синусен сигнал на екранот од осцилокопот.

➤ Периодата на сигналот се пресметува како производ на вредноста на еден поделок по хоризонтала на мрежата на екранот и бројот на поделоци по хоризонтала:

$$T = \text{_____ (msec/div)} \times \text{_____ (div)} = \text{_____ (msec)}$$

9. Да се пресмета фреквенцијата на измерениот напон:

➤  $f = 1/T = \text{_____ (Hz)}$

10. Да се запишат точната вредност на фреквенцијата  $f_t$  на генерираниот сигнал и пресметаната вредност  $f$ , потоа да се пресмета процентуалната грешка според изразот:

$$\delta = \frac{f - f_t}{f_t} \cdot 100 \% = \text{_____ \%}$$

11. Да се повтори постапката од точка 8 до точка 10 со генерирање синусен напон со друга фреквенција.

		прво мерење	второ мерење	трето мерење
Точна вредност	f (Hz)			
Пресметана вредност	f (Hz)			
Пресметана вредност	T (sec)			
Процентуална грешка	$\delta$ (%)			



## ВЕЖБА 12

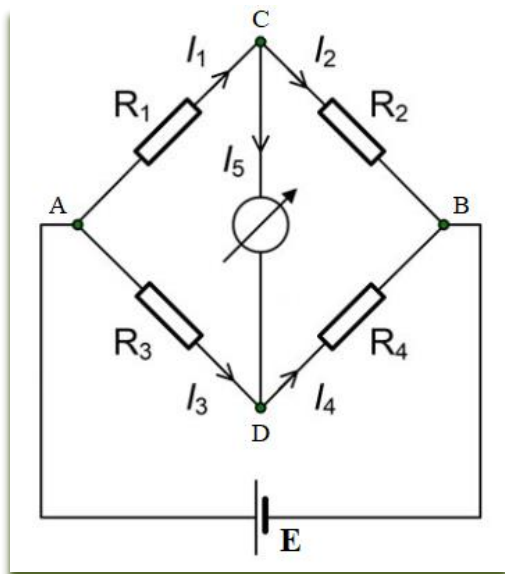
### МЕРЕЊЕ ОМСКА ОТПОРНОСТ СО ВИТСТОНОВ МОСТ

**Цел на вежбата:** Запознавање со постапките за мерење непозната отпорност со мерен мост.

#### Прибор:

- \* извор на еднонасочен напон;
- \* галванометар;
- \* отпорници:  $R_1=1\text{ k}\Omega$ ,  $R_2=10\text{ k}\Omega$ ,  $R_3=10\text{ k}\Omega$ ;
- \*  $R_4$  – отпорна декада.

#### Постапка:



Сл. 22

1. Да се конструира Витстоновиот мост според дадената шема на слика 22.
2. Да се приклучи изворот на еднонасочен напон меѓу точките А и В.
3. Да се нагоди еднонасочниот напон на вредност 5 V.

4. Со менување на отпорноста на отпорната декада, да се доведе мостот во рамнотежа, односно струјата да е  $I_5 = 0 \text{ A}$ .
5. Во табела да се внесе прочитаната вредност на отпорноста на отпорната декада во моментот на рамнотежа.
6. Вредноста на непознатата отпорност  $R_4$  се пресметува според релацијата:

$$R_4 = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_1}$$

7. Да се повтори вежбата за други вредности за отпорниците  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  и добиените вредности да се запишат во табелата.

		прво мерење	второ мерење	трето мерење
Прочитана отпорност на отпорната декада	( $\Omega$ )			
Пресметана вредност на отпорноста	( $\Omega$ )			

**Анализирај:**

Објасни ја разликата во добиените резултати при мерењето на непознатата омска отпорност со Витстонов мост.

---



---



---



## ВЕЖБА 13

### ИЗРАБОТКА НА МРЕЖЕН КАБЕЛ И ТЕСТИРАЊЕ

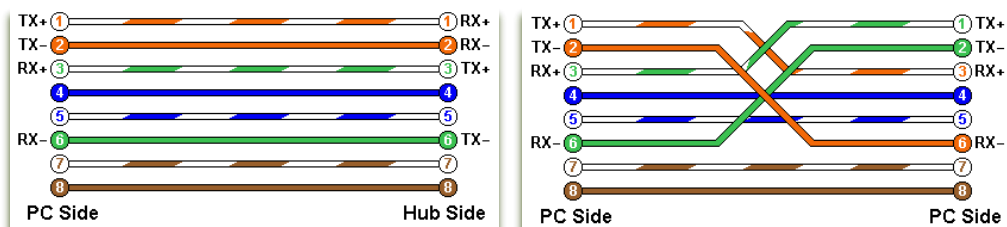
**Цел на вежбата:** Изработка на мрежен кабел со поставување конектори и тестирање на неговата исправност.

#### Прибор:

- \* UTP кабел;
- \* кримп клешта;
- \* 2 конектори RJ45;
- \* тестер за кабел.

#### Постапка:

1. Жиците на кабелот се оголуваат со кримп клешта, односно се отстранува изолацијата во должина од околу еден сантиметар. На клештата има нож за оваа намена, кој има и граничник, па не мора да се мери. Потоа, се раздвојуваат сите осум жици и малку се повлекува изолацијата на кабелот, за да се извлечат линиите повеќе, односно за да може лесно да се исправат и да се распоредат според шемата (сл.23).

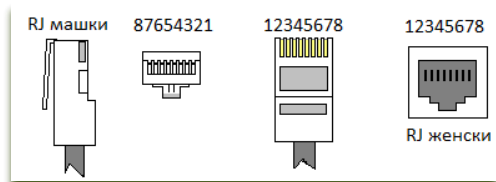


Сл. 23: Стандарден кабел (лево) и вкрстен кабел (десно)

2. Исправените и распоредени линии се притискаат со два прста за да може да се скратат со клештата, за сите линии да бидат со иста должина – се кратат сите наеднаш, со специјалниот нож на клештата. Потоа со лесно туркање се поставуваат во конекторот.
3. Распоредот на линиите се врши од страната која ќе влезе во приклучокот. Линиите се распоредени по боја од лево кон десно (сл.

- 23). Правилото е секогаш наизменично да се менуваат шарена линија и линија во една боја. Во случај на кросовер (вкрстен) кабел, зелено-белите и зелено-портокаловите жици, како и зелените и портокаловите жици, си ги заменуваат местата.
- Во конекторот има водилки така што секоја линија ќе се постави во своето лежиште. Кабелот се турка сè додека не влезат сите жици до крајот на конекторот. Потоа се повлекува изолацијата колку што е можно повеќе да влезе во конекторот, за неговиот пластичен забец да може да ја фати кога ќе се притисне со клештата. Откако ќе се монтира кабелот во конекторот, кабелот со конекторот се поставува во клештата и се притиска. Клештата ќе ги притисне контактите на конекторот така што тие ќе паднат во конекторот, ќе ја пробијат изолацијата на каблите и ќе воспостават добар контакт со нив. Во исто време, пластичниот забец под притисок се крши и ќе го опфати целиот кабел сосе изолација во конекторот.
  - Постапката од точките 1-4 се повторува и на другиот крај од кабелот.

**Забелешка:** Најчеста грешка е што изолацијата е прекратка и забецот не ја опфаќа, туку директно ги стиска голите жици. Резултатот е или каблите не се доволно притиснати, така што тие се лабави и паѓаат од конекторот со тек на времето или, ако се цврсто стегнати, забецот ги пресекува каблите.



Сл. 24 RJ45 конектори



Сл. 25

- Изработениот кабел се приклучува на кабелски тестер за проверка на неговата исправност (сл. 25). Доколку светилката за континуитет свети, значи дека е воспоставена врска на сите 8 линии од кабелот и двата приклучока. Тестерот има опција и да сигнализира континуитет за секоја линија поединечно (на светилките во долниот дел од тестерот).

## Листа со кратенки

**SI** (Le Système International d'Unités) - Меѓународен мерен систем

**BIMP** (Bureau International des Poids et Mesures) - Меѓународно биро за тегови и мерки

**CIMP** (Comité International des Poids et Mesures) – Меѓународен комитет за тегови и мерки

**CGPM** (Conférence Générale des Poids et Mesures) - Генерална конференција за тегови и мерки

**OIML** (International Organization of Legal Metrology) - Меѓународна организација за законска метрологија

**IEC** (International Electrotechnical Commission) - Меѓународна комисија за електротехника

**LDR** (Light Dependent Resistor) – фотоотпорник

**MAF** (Mass Air Flow) – сензор за проток на воздух со крилца

**RTD** (Resistance Temperature Detector) – термистор

**NTC** (Negative Temperature Coefficient) – термистор со негативен температурен коефициент

**PTC** (Positive Temperature Coefficient) – термистор со позитивен температурен коефициент

**CPU** (Central Processing Unit) – централна процесорска единица

**RAM** (Random Access Memory) – меморија со случаен пристап

**ROM** (Read-Only Memory) – меморија од која може само да се чита

**EPROM** (Erasable Programmable Read-Only Memory) – ROM меморија која може да се репрограмира

**VDE** (Verband Deutscher Elektrotechniker) - здружение на германски електроинженери

**LCD** (Liquid-Crystal Display) - екран со течни кристали

**LED** (Light-Emitting Diode) – светлечка диода

**AC** (Alternating Current) – наизменична струја

**DC** (Direct Current) – еднонасочна струја

**МКС** – Ознака за стандарди во Република Северна Македонија

**MFT** (Multi-function Tester) – мултифункционален тестер

**RCD** (Residual Current Device) - заштитен уред со диференцијална струја

**bps** (bits per second) - битови во секунда

**STP** (shielded twisted pair) - заштитена впредена парица

**UTP** (unshielded twisted pair) - незаштитена впредена парица

**FTP** (foil twisted pair) – впредени парици со алуминиумска фолија

**LAN** (Local Area Network) – локална мрежа

**TDR** (Time Domain Reflectometer) – рефлектометар

**OTDR** (Optic Time Domain Reflectometer) – оптички рефлектометар

## Содржина

<b>1 Општи поими за електрични мерења</b> .....	1
1.1 Општи поими за мерењето .....	3
1.1.1 Мерења и основни мерни постапки.....	4
1.2 Мерни единици на електрични големини.....	5
1.3 Еталони на електрични големини.....	9
1.3.1 Еталони на напон.....	9
1.3.2 Еталони на електрична отпорност.....	11
1.3.3 Еталони на електрична струја.....	12
1.3.4 Еталони на капацитивност .....	12
1.3.5 Еталони на индуктивност .....	13
1.3.6 Еталони за проверка на инструменти.....	13
1.4 Мерен прибор .....	14
Прашања за утврдување на знаењата од модуларна единица 1.....	18
Тематско утврдување .....	19
<b>2 Конструкција и технички карактеристики на електрични мерни инструменти</b> .....	21
2.1 Составни делови на електрични мерни инструменти.....	23
2.1.1 Скала на мерен инструмент.....	24
2.1.2 Стрелки на електрични мерни инструменти .....	26
2.2 Принцип на работа на мерни инструменти .....	29
2.3 Видови електрични мерни инструменти.....	30
2.4 Испитен напон на мерен инструмент .....	31
2.5 Ознаки на мерни инструменти.....	32
2.5.1 Ознаки на аналогни инструменти.....	32
2.6 Чувствителност на мерен инструмент .....	34
2.7 Константа на мерен инструмент .....	36

2.8 Придушување мерен инструмент.....	37
2.9 Точност на мерење.....	39
2.9.1 Грешки и точност на мерени инструменти .....	40
2.10 Мерна неодреденост.....	43
Прашања за утврдување на знаењата од модуларна единица 2.....	45
Тематско утврдување .....	46
<b>3 Електронски мерни инструменти .....</b>	<b>49</b>
3.1 Вовед.....	51
3.1.1 Поделба на електронски мерни инструменти .....	52
3.1.2 Мерни засилувачи.....	55
3.1.3 Преобразба на аналогни во дигитални големини .....	57
3.2 Мерен инструмент со вртлива намотка .....	61
3.2.1 Составни делови .....	62
3.2.2 Принцип на работа .....	62
3.2.3 Температурна компензација .....	65
3.2.4 Проширување струјно мерно подрачје.....	66
3.2.5 Проширување напонско мерно подрачје.....	70
3.2.6 Мерење наизменични големини.....	72
3.3 Електронски волтметар .....	76
3.4 Електронски амперметар .....	81
3.4.1 Мерење струја .....	83
3.5.Електронски омметар .....	84
3.6 Електронски мултиметар .....	87
3.7 Дигитални мерни инструменти .....	89
3.7.1 Дигитален волтметар.....	90
3.7.2 Дигитален амперметар .....	92
3.7.3 Дигитален оммметар .....	93
3.7.4 Дигитален мултиметар .....	94
3.7.5 Мерење со дигитален мултиметар.....	98
3.7.6 Дигитален ватметар .....	100

3.7.7 Дигитално броило за електрична енергија .....	102
3.8 Осцилоскоп .....	106
3.8.1 Принцип на работа на осцилоскоп со катодна цевка .....	107
3.8.1.1 Отклонски систем.....	109
3.8.1.2 Стартувачка секција.....	110
3.8.2 Дигитален осцилоскоп.....	111
3.8.3 Мерење со осцилоскоп .....	113
3.8.3.1 Мерење напон со осцилоскоп .....	114
3.8.3.2 Мерење фазна разлика со осцилоскоп .....	116
3.8.3.3 Мерење струја со осцилоскоп.....	114
Прашања за утврдување на знаењата од модуларна единица 3.....	119
Тематско утврдување .....	121
<b>4 Мерни трансформатори .....</b>	<b>127</b>
4 Мерни трансформатори .....	129
4.1 Напонски мерни трансформатори .....	130
4.1.1 Поврзување напонски мерни трансформатори .....	130
4.1.2 Означување на напонските мерни трансформатори.....	133
4.1.3 Технички карактеристики на напонски мерни трансформатори.....	134
4.2 Струјни мерни трансформатори .....	137
4.2.1 Поврзување на струјни мерни трансформатори.....	137
4.2.2 Означување струјни мерни трансформатори .....	139
4.2.3 Технички карактеристики на струјни мерни трансформатори.....	141
4.3 Контрола на означување прилкучни краеви на мерни трансформатори .....	143
Прашања за утврдување на знаењата од модуларна единица 4.....	145
Тематско утврдување .....	146
<b>5 Мерни методи за мерење електрични и неелектрични големини .</b>	<b>147</b>
5 Мерни методи .....	149
5.1 Мерење отпорност со мерење напон и струја (U-I метода) .....	150

5.2 Мерење моќност со мерење на напон и струја (U-I метода) .....	152
5.2.1 Мерење електрична моќност во кола со еднонасочна струја.....	153
5.3 Мерни мостови и компензатори.....	155
5.3.1 Мостови за еднонасочна струја .....	156
5.3.2 Мостови за наизменична струја .....	159
5.3.3 Примена на мостови за наизменична струја .....	160
5.3.4 Компензатори за еднонасочна струја .....	162
5.3.5 Компензатори за наизменична струја .....	164
5.4 Мерни преобразувачи за неелектрични големини .....	167
5.4.1 Потенциометарски мерни преобразувачи .....	170
5.4.2 Тензометарски мерни преобразувачи .....	173
5.4.3 Индуктивни мерни преобразувачи.....	175
5.4.4 Кондензаторски мерни преобразувачи.....	178
5.4.5 Пиезоелектрични мерни преобразувачи.....	180
5.4.6 Термоелектрични мерни преобразувачи .....	182
5.4.7 Термоотпорнички мерни преобразувачи.....	184
5.4.8 Термистори.....	186
5.4.9 Дигитални мерни преобразувачи .....	187
Прашања за утврдување на знаењата од модуларна единица 5 .....	191
Тематско утврдување .....	192

<b>6 Мерни уреди за тестирање на електрични и комуникациски инсталации.....</b>	<b>195</b>
6.1 Електрични инсталации .....	197
6.1.1 Стандарди и прописи за електрични инсталации.....	199
6.1.2 Мерни уреди за контрола на електрични инсталации .....	200
6.1.2.1 Повеќенаменски (мултифункционални) тестери .....	201
6.1.2.2 Тестер за непрекинатост .....	202
6.1.2.3 Тестери за заземјување и отпорност на заземјување .....	202
6.1.2.4 Тестери за импенданса на јамка и заштитен уред.....	203

6.1.2.5 Тестер за напон .....	204
6.1.2.6 Тестери за изолација и непрекинатост .....	204
6.1.3 Испитување на исправност на електрични инсталации .....	205
6.1.3.1 Преглед на инсталација во тек на изведување на работите .....	206
6.1.3.2 Испитување оветлување .....	206
6.1.3.3 Испитување приклучоци .....	206
6.1.3.4 Испитување разводна табла .....	207
6.1.3.5 Испитување заштита со автоматско исклучување на напојување со мерење на отпорност на јамка.....	207
6.1.3.6 Испитување напон на допир при потенцијална струја на куса врска .....	208
6.1.3.7 Испитување заштитен уред со диференцијална струја (RCD) .....	209
6.1.3.8 Испитување громобранска инсталација.....	210
6.1.4 Мерење карактеристики на електрична инсталација.....	211
6.1.4.1 Мерење отпорност на заземјување .....	211
6.1.4.2 Мерење непрекинатост на заштитен спроводник .....	215
6.1.4.3 Мерење изолација .....	217
6.2 Комуникациски инсталации.....	222
6.2.1 Мерни уреди за тестирање комуникациски инсталации .....	225
6.2.1.1 Инструменти за одредување на состојба на инсталацијата .....	226
6.2.1.2 Инструменти за лоцирање на пречки .....	228
6.2.1.3 Локатори на водови.....	230
6.2.1.4 Повеќенаменски (мултифункционални) мерни уреди .....	230
6.2.2 Испитување и мерење карактеристики на комуникациски инсталации .....	232
6.2.2.1 Испитување непрекинатост на вод.....	233
6.2.2.2 Испитување куса врска во вод со впредени парици .....	233
6.2.2.3 Мапирање водови.....	235
6.2.2.4 Мерење слабеење .....	236
6.2.2.5 Мерење преслушување .....	237
6.2.2.6 Време на пропација на сигнал .....	240
6.2.2.7 Мерење должина на вод .....	241

6.2.2.8 Мерење импенданса на вод .....	242
6.2.2.9 Лоцирање водови .....	243
Прашања за утврдување на знаењата од модулarna единица 6 .....	245
Тематско утврдување .....	248
<b>Вежби</b> .....	<b>251</b>
Примена на МКС стандарди и заштита при работа .....	253
Вежба 1: Мерење еднонасочен и наизменичен напон со аналоген унимер .....	255
Вежба 2: Мерење напон со дигитален мултиметар .....	258
Вежба 3: Мерење на еднонасочни напони во редна и паралелна врска ...	261
Вежба 4: Влијание на волтметар врз мерените вредности .....	263
Вежба 5: Проверка на Прв Кирхофов закон .....	265
Вежба 6: Мерење на струја во коло со променлив отпор .....	267
Вежба 7: Мерење напон и струја на комбинирана врска на отпорници ..	268
Вежба 8: Проверка на Втор Кирхофов закон .....	270
Вежба 9: Мерење омска отпорност со мерење на напон и струја (U-I метода) .....	272
Вежба 10: Мерење моќност на паралелна RLC врска .....	274
Вежба 11: Мерење параметри на синусен сигнал со осцилоскоп .....	276
Вежба 12: Мерење омска отпорност со Витстонов мост .....	279
Вежба 13: Изработка на мрежен кабел и тестирање .....	281

## КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Цветан Гавровски „Основи на мерната техника“, Факултет за електротехника и информациски технологии - Скопје, (2007)
- [2] Цветан Гавровски, Ефтим Пејовски „Електрични мерења“ за III година електротехничка струка, Просветно дело, (1999)
- [3] Јани Сервини, Тони Панов „Основи на мерења и логички кола“ Министерство за образование и наука за Република Македонија, (2013)
- [4] Ефтим Пејовски, Кирил Ристески, Прван Давитков „Електрични мерења“, за II и III година електротехничка струка, Просветно дело, (2001)
- [5] Тони Велков, Игор Митев, „Осветлување и инсталации“, Министерство за образование и наука за Република Македонија, (2013)
- [6] Ефтим Пејовски, Кирил Ристески „Лабораториски вежби по електрични мерења“ за електротехничка струка, Просветно дело, (2007)
- [7] Василија Шарац „Електрични инсталации“, Универзитет „Гоце Делчев“ - Електротехнички факултет, Штип, (2018)
- [8] R. Khurana „*Electronic instrumentation and measurement*“ New Delhi: VIKAS® PUBLISHING HOUSE PVT LTD
- [9] P. Purkait, B. Biswas, S. Das & Chiranjib Koley „*Electrical and Electronics Measurements and Instruments*“, New Delhi: McGraw Hill Education (India), (2013)
- [10] Sedha, R. S. „*Electronic measurements and instrumentation*“ Singapore: S. Chand & Company Pvt. Ltd., (2013)
- [11] Mr Tatijana Dlabač „*LABORATORIJSKE VJEŽBE*“ iz Osnova elektrotehnike i elektronike I, (studijski priručnik), Univerzitet Crne Gore, Podgorica, (2010)
- [12] Mr. Zoran Veličković „*Merenja u elektronici*“ 1, 6, 7, Visoka tehnička škola, strukovnih studija, Niš

- [13] EE 442 „*Laboratory Experiment 2*“, Introduction to the Measurement of Voltage, Current, Resistance; and Voltmeter Loading, (2007)
- [14] Mladen Popovik „*Senzori i merenja*“, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, (2004)
- [15] Predrag Pejovic „*PRINCIP RADA I PRIMENA OSCILOSKOPA — priručnik za rad u laboratoriji*“, Elektrotehnicki fakultet Univerziteta u Beogradu, (2016)
- [16] „*LABORATORIJSKA VEŽBA BROJ 1*“ Računarske mreže, Visoka tehnička škola, Niš
- [17] Fluke, Metrel, Greenlee, Gossen Metrawatt datasheet
- [18] <https://practicnanastavakta.files.wordpress.com/2015/05/praktikum-cta-2.pdf>
- [19] <http://tempus-19010.feit.ukim.edu.mk/>
- [20] <https://www.scribd.com/document/432993695/Elektronski-merni-instrumenti#>
- [21] <https://studylib.net/doc/8728109/ee-442-lab-experiment-no.-2-introduction-to-the-measureme...>
- [22] [https://racunarstvoinformatikasd.files.wordpress.com/2015/09/laboratorijske\\_vezbe\\_rmv1.pdf](https://racunarstvoinformatikasd.files.wordpress.com/2015/09/laboratorijske_vezbe_rmv1.pdf)
- [23] <https://dokumen.tips/documents/hobi-elektronika-unimer-5681d05116460.html>
- [24] <https://www.youelectricalguide.com/>
- [25] <https://dokumen.tips/download/link/vezba-2-utp-kablovi>
- [26] <https://dokumen.tips/documents/aktivni-filtri.html?page=1>
- [27] [https://racunarstvoinformatikasd.files.wordpress.com/2015/09/laboratorijske\\_vezbe\\_rmv1-1.pdf](https://racunarstvoinformatikasd.files.wordpress.com/2015/09/laboratorijske_vezbe_rmv1-1.pdf)





# ЕЛЕКТРИЧНИ МЕРЕЊА