

ВИСОКА ТЕХНИЧКА ШКОЛА
СТРУКОВНИХ СТУДИЈА
У НОВОМ САДУ

Весна Петровић

ЕЛЕКТРИЧНА МЕРЕЊА
ПРАКТИКУМ ЗА ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ВЕЖБЕ

ИМЕ И ПРЕЗИМЕ СТУДЕНТА

БРОЈ ИНДЕКСА

НОВИ САД

СПИСАК ЛАБОРАТОРИЈСКИХ ВЕЖБИ

1. Омов закон за једносмерну електричну струју.....3
2. Омов закон за наизменичну електричну струју.....10
3. Баждарење термоелемента.....19

СТАТИСТИКА УРАЂЕНИХ ВЕЖБИ

Број вежбе	Датум	Потпис	Поени
1			/5
2			/5
3			/5
УКУПНО ПОЕНА			/15

1. ВЕЖБА

ОМОВ ЗАКОН ЗА ЈЕДНОСМЕРНУ ЕЛЕКТРИЧНУ СТРУЈУ

ЗАДАТАК ВЕЖБЕ

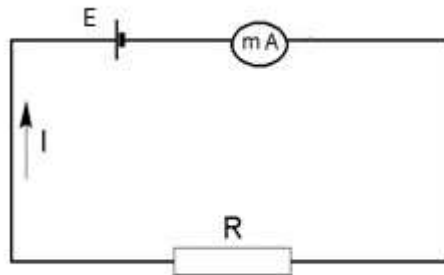
1. За различите вредности отпора измерити јачину струје и вредности унети у табелу.
2. Нацртати на милиметарском папиру график $I = f(R)$.
3. Нацртати на милиметарском папиру график $1/I = f(R)$
4. Из графика $1/I = f(R)$ одредити вредност електромоторне силе.
5. Нацртати график $1/I = f(R)$ на рачунару у програму "ORIGIN" и одредити вредност електромоторне силе и њен интервал грешке.
6. Упоредити вредност електромоторне силе добијене у задатку 4 и задатку 5.

ПОСТУПАК У РАДУ

Да би се извршила провера Омовог закона потребно је повезати струјно коло као на слици 1.1, где је:

R - отпорна декада која омогућава подешавање задате вредности спољашњег отпора,
 E – једносмерни извор напајања,
 mA – милиамперметар.

За сваку вредност отпора очитати јачину струје на милиамперметру и вредности унети у табелу 1.1.



Слика 1.1

ТЕОРИЈСКА ПРИПРЕМА

Немачки физичар, Георг Ом (*Georg Simon Ohm, 1789-1854*), је открио један од основних закона у електротехници (1827. године). На првом Међународном електротехничком конгресу (1881. године), усвојено је да јединица за мерење електричне отпорности носи његово име. Омов закон даје везу између јачине електричне струје, напона и отпора. Овај закон важи и за део струјног кола и за просто струјно коло, ако се целокупни рад електричне струје претвара у топлоту.

Омов закон за део струјног кола гласи: Јачина струје кроз проводник је сразмерна напону на крајевима проводника а обрнуто је сразмерна његовом отпору.

$$I = \frac{U}{R} \quad 1.1$$

где је:

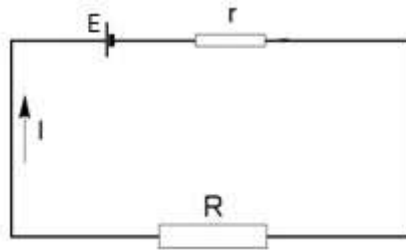
I - јачина електричне струје у амперима [A],

U - напон у волтима [V],

R - отпор у омима [Ω].

Ако се Омов закон примени на просто струјно коло, (слика 1.2), добија се:

$$I = \frac{E}{\sum R} \quad 1.2$$



Слика 1.2

где је:

E - електромоторна сила извора,

$\sum R$ - збир свих отпора у посматраном струјном колу.

Овај збир отпора, према слици 1.2, се може представити као: $\sum R = R + r$,

где је:

R - збир свих спољашњих отпора у колу

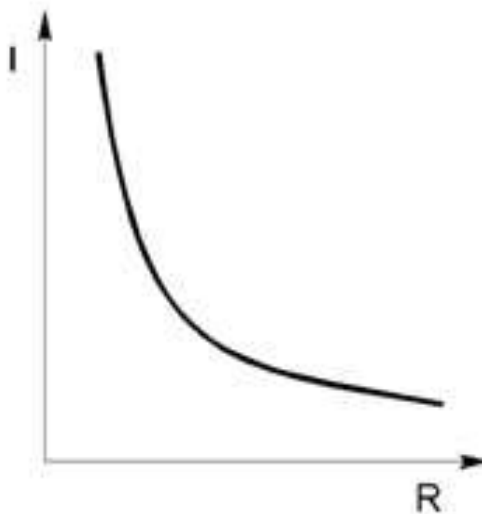
r - збир свих пратећих отпора (отпор контаката, унутрашњи отпор извора и мерних инструмената,....), па једначина 1.2. гласи:

$$I = \frac{E}{R + r} \quad 1.3$$

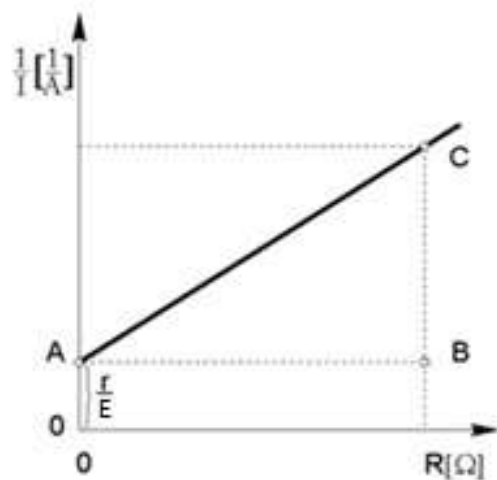
Мерењем јачине струје у функцији спољашњег отпора R , могуће је конструисати график као на слици 1.3. Међутим, за добијену хиперболу се не може тврдити да је првог степена, како је ова зависност описана Омовим законом. Да би се сасвим поуздано проверила тачност Омовог закона, ова крива ће бити трансформисана у линеаран облик, тако што ће се узети реципрочна вредност једначине 1.3, (слика 1.4).

$$\frac{1}{I} = \frac{R + r}{E} \quad 1.4$$

Односно



Слика 1.3 График $I = f(R)$



Слика 1.4 График функције $1/I = f(R)$

$$\frac{1}{I} = \frac{r}{E} + \frac{1}{E} R \quad 1.5$$

Једначина 1.5 је једначина праве ($y = a + bx$) у којој је:

R - независно променљива (x),

$1/I$ - зависно променљива (y),

$1/E$ - коефицијент правца праве (b),

r/E - константа која одређује одсечак на ординатној оси (a).

Из математике је познато да је коефицијент правца праве једнак тангенсу угла који та права заклапа са позитивним смером x -осе, односно:

$$a = \frac{1}{\varepsilon} = \operatorname{tg} \alpha \Rightarrow \varepsilon = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}$$

$$\varepsilon = \operatorname{ctg} \alpha = \frac{\overline{AB}}{\overline{BC}} \quad 1.6$$

РЕЗУЛТАТИ

Табела 1.1

Број мерења	R [Ω]	I [mA]	ΔI [mA]	$1/I$ [1/A]	$\Delta(1/I)$ [1/A]
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					

График функције $I = f(R)$ (нацртан у размери)

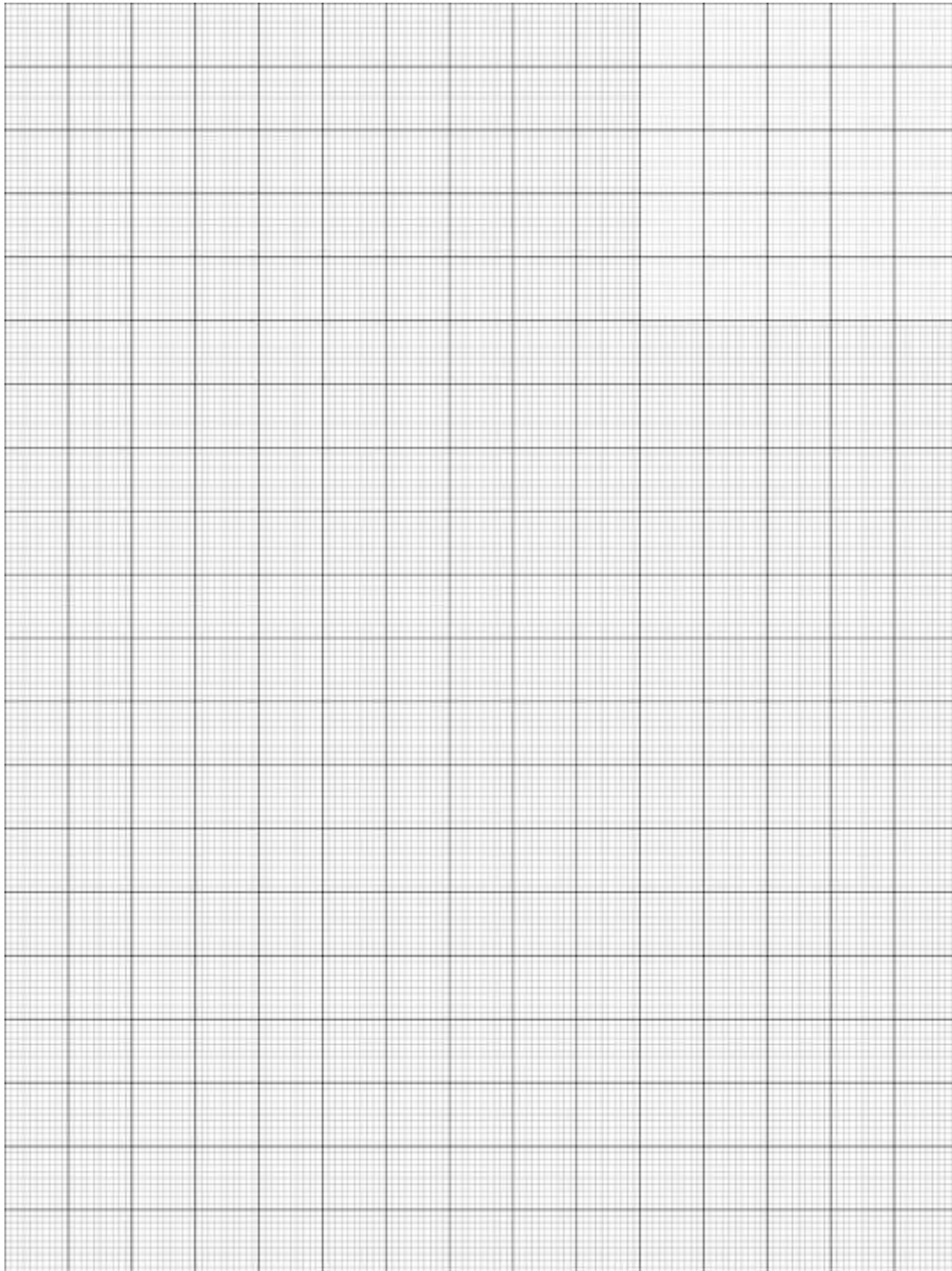
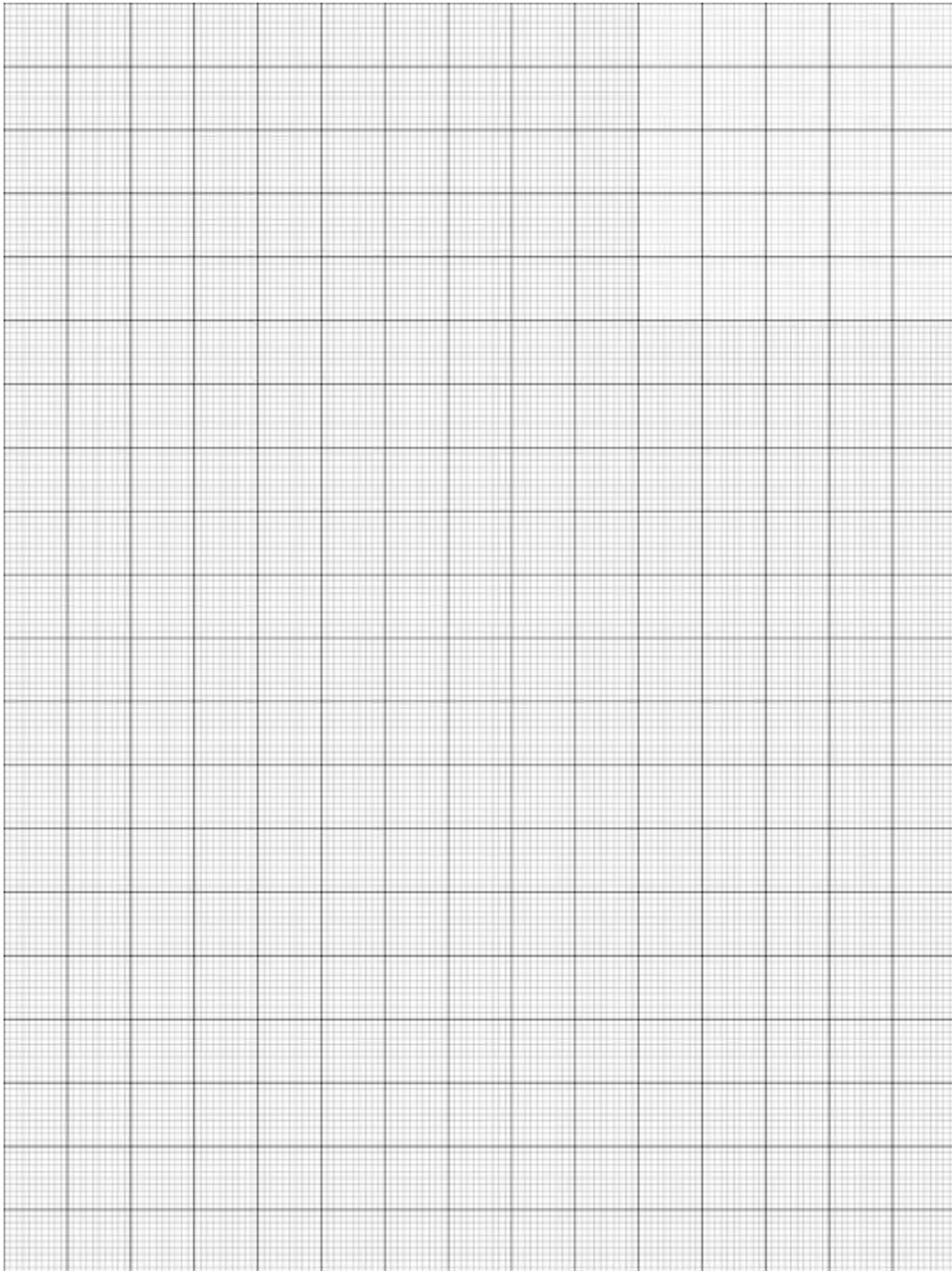


График функције $1/I = f(R)$ (нацртан у размери)



**ГРАФИК И РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА
ОБРАЂЕНИ У ПРОГРАМУ “ORIGIN”**

2. ВЕЖБА

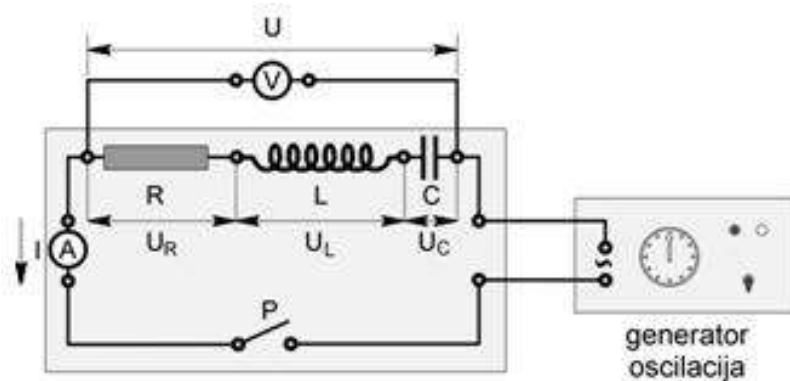
ОМОВ ЗАКОН ЗА НАИЗМЕНИЧНУ ЕЛЕКТРИЧНУ СТРУЈУ

ЗАДАТАК ВЕЖБЕ

- Измерити следеће величине у R, L, C колу:
 - укупну јачину струје у колу I
 - укупан напон на крајњим тачкама кола U ,
 - пад напона на термогеном отпору U_R ,
 - пад напона на индуктивном отпору U_L ,
 - пад напона на капацитивном отпору U_C .
- Измерене вредности унети у табелу 2.1
- Израчунати отпоре R, X_L, X_C
- Израчунати L, C и φ
- Израчунати импедансу Z помоћу формула 2.22 и 2.24
- Израчунате вредности унети у табеле 2.2 и 2.3.

ПОСТУПАК У РАДУ

У овој вежби ће се користити плоча са већ уграђним елементима R, L и C . Они су серијски повезани са извором наизменичне струје и милиамперметром, слика 2.1.



Слика 2.1

ТЕОРИЈСКА ПРИПРЕМА

Окретањем рама од проводника у хомогеном магнетном пољу јачине B , слика 2.2, јавиће се услед индукције, на његовим крајевима наизменична електромоторна сила - ЕМС. Вредност индуковане ЕМС је одређена Фарадејевим законом индукције:

$$E = - \frac{d\Phi}{dt} \quad 2.1$$

где је:

Φ - магнетни флуks,

t - време,

$d\Phi / dt$ - брзина промене флуksа

Формуле за магнетну индукцију је:

$$B = \frac{\Phi}{S'} \quad 2.2$$

где је: S' – пројекција површине рама ($S = ab$) на раван нормалну на линије силе магнетног поља.

Из формуле 2.2, уколико се изрази магнетни флуks, добија се

$$\Phi = B S' \quad 2.3$$

Заменом 2.3 у 2.1 следи:

$$E = -\frac{d(B S')}{dt} \quad 2.4$$

Површина S' кроз коју пролази магнетни флуks се може написати као

$$S' = ab' = ab \cos \varphi = S \cos \varphi = S \cos \omega t$$

где је ω - угаона брзина ($\omega = \varphi / t$).

Узимајући у обзир да су B и S константе, једначина 2.2 се сада своди на

$$E = -\frac{d(B S \cos \omega t)}{dt} = -B S \frac{d(\cos \omega t)}{dt} = B S \omega \sin \omega t \quad 2.5$$

Ако се рам окреће константном угаоном брзином ω , тада се константне величине B , S и ω могу заменити новом константом E_m , која представља максималну вредност електромоторне силе, па једначина 2.5 тада има облик:

$$\Phi = E_m \sin \omega t \quad 2.6$$

Једначина 2.6 показује да се индукована ЕМС, у овом случају, периодично мења по синусној функцији са периодом T .

Веза између периода обртања (T), угаоне брзине (ω) и фреквенције (ν) је дата једначином:

$$\omega = 2\pi \nu = \frac{2\pi}{T} \quad 2.7$$

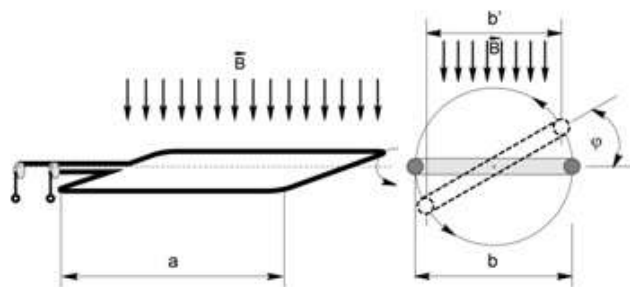
Ако се искористи веза дата једначином 2.7, тада се једначина 2.6 може написати као:

$$E = E_m \sin 2\pi \nu t$$

или

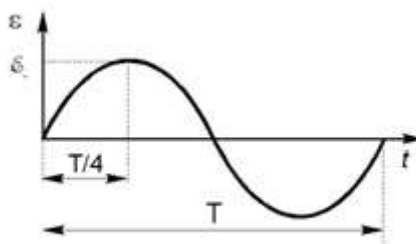
$$E = E_m \sin \frac{2\pi}{T} t \quad 2.8$$

У тренуцима када је $t = \frac{T}{4}, \frac{5T}{4}, \frac{9T}{4}, \dots$ из једначине 2.8 следи да је $E = E_m$. Тада ЕМС има највећу вредност. У било ком другом тренутку је $E \neq E_m$ и назива се тренутна вредност ЕМС.



Слика 2.2

На слици 2.3 је графички приказана зависност ЕМС од времена.



Слика 2.3

У колу наизменичне струје јављају се три врсте отпора:

- **термогени** (омски) отпор R ,
- **индуктивни** отпор X_L ,
- **капацитивни** отпор X_C .

2.1. ТЕРМОГЕНИ ОТПОР У КОЛУ НАИЗМЕНИЧНЕ СТРУЈЕ

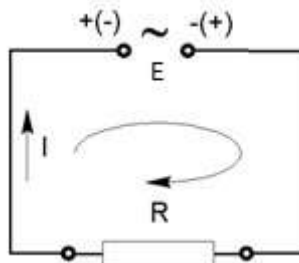
На слици 2.4 је приказан термогени отпор прикључен на наизменични напон. Кроз њега ће протицати наизменична струја која је по Омовом закону дата као:

$$i = \frac{E}{R} \quad 2.9$$

Заменом израза за E из 2.6 у 2.9 добија се

$$i = \frac{E_m \sin \omega t}{R} = I_m \sin \omega t \quad 2.10$$

где је $I_m = E_m/R$ – максимална вредност јачине струје



Слика 2.4

Поређењем једначина 2.6 и 2.10 произилази да у колу са извором наизменичне ЕМС и **термогеним отпором** R , ЕМС и јачина струје осцилују по истом синусном закону, без фазног помераја.

Поред тренутне и максималне вредности ЕМС и јачине наизменичне струје дефинишу се и њихове ефективне вредности.

Ефективна вредност наизменичне струје је једнака оној вредности једносмерне струје, која пролазећи кроз отпор R , у одређеном времену изврши исти рад као и та наизменична струја.

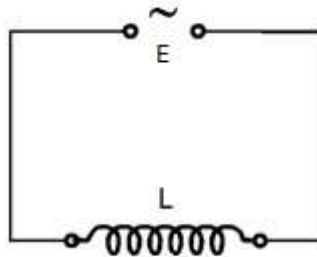
Ефективне вредности ЕМС и јачине струје се изражавају преко њихових максималних вредности:

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0,707 E_m$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m$$

2.2. ИНДУКТИВНИ ОТПОР У КОЛУ НАИЗМЕНИЧНЕ СТРУЈЕ

Ако на наизменични напон прикључимо завојницу (калем), слика 2.5, кроз коло ће протећи наизменична струја која ће у завојници стварати променљиво магнетно поље. Услед променљивог магнетног флукса, који обавија завојницу, у њој ће се индуковати ЕМС која се назива електромоторна сила самоиндукције или контра електромоторна сила КЕМС (ε_s). Њено дејство ће, према Ленцовом правилу, бити усмерено против свог узрочника.



Слика 2.5

Магнетни флукс који ствара наизменична струја у калему зависи од јачине струје, броја намотаја и конструкције калема. Број намотаја и конструкција калема су изражени кроз коефицијент индукције (L), и он је карактеристика сваког калема, а јединица је хенри (H). На основу тога се магнетни флукс може писати $\Phi = Li$, а самоиндукована ЕМС је на основу Фарадејевог закона индукције:

$$\varepsilon_s = -\frac{d\Phi}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad 2.11$$

С обзиром да у колу приказаном на слици 2.5 постоје две ЕМС (ЕМС извора и КЕМС), на основу другог Кирхофовог правила које гласи да је алгебарски збир свих ЕМС у једној затвореној контури, једнак алгебарском збиру свих падова напона у тој истој контури.

С обзиром да у колу на слици 2.5 нема елемената на којима би се јавили падови напона следи:

$$\varepsilon - \varepsilon_s = 0 \quad 2.12$$

Заменом израза 2.6 и 2.11 у 2.12 се добија:

$$E_m \sin \omega t - L \frac{di}{dt} = 0$$

Решавањем ове диференцијалне једначине и применом одговарајуће тригонометријске трансформације, за јачину струје се добија:

$$i = \frac{E_m}{\omega L} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

Из ове једначине произилази да је струја синусна функција, а поређењем са једначином 2.6 види се да она фазно заостаје за ЕМС извора за угао $-\pi/2$.

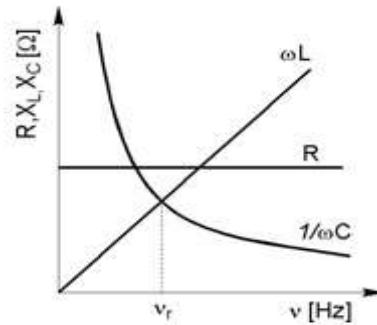
Максимална вредност струје у овом случају је $I_m = \frac{E_m}{\omega L}$, а ефективна вредност се добија дељењем ове једначине са $\sqrt{2}$:

$$i = \frac{E_m}{\omega L} \quad 2.13$$

По аналогији са Омим законом за једносмерну струју, $I = U/R$, именилац у једначини 2.13 представља отпор

$$X_L = L \cdot \omega = 2\pi \nu \quad 2.14$$

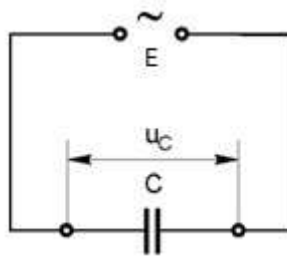
који називамо **индуктивни отпор**. Као што се види он није константна величина за један исти калем, већ се линеарно мења са променом фреквенције ЕМС извора, слика 2.6.



Слика 2.6

2.3. КАПАЦИТИВНИ ОТПОР У КОЛУ НАИЗМЕНИЧНЕ СТРУЈЕ

Ако се извор наизменичне ЕМС прикључи кондензатор капацитета C , слика 2.7, тада ће кроз коло потећи струја и кондензатор ће се пунити све док ЕМС не промени смер. Тада ће и струја променити свој смер, а кондензатор ће најпре почети да се празни а затим пуни у супротном смеру. Ово периодично пуњење и прањњење кондензатора омогућава да кроз коло тече наизменична струја.



Слика 2.7

Посматраће се тренутак када вредност ЕМС извора износи t . У кондензатору ће се у том тренутку налазити количина наелектрисања q , а на његовим крајевима ће владати напон U_C .

Тада се на основу другог кирхофовог правила може писати

$$E = U_C \quad 2.15$$

Тренутна вредност напона U зависи од количине наелектрисања q и од капацитета кондензатора C и дата је једначином:

$$U_C = \frac{q}{C} \quad 2.16$$

Из дефиниције за јачину струје следи:

$$i = \frac{dq}{dt}$$

те је промена количине наелектрисања дата као:

$$dq = i dt$$

а укупно наелектрисање је тада:

$$q = \int i dt \quad 2.17$$

Заменом израза 2.16 и 2.17 у 2.15, и узимајући у обзир 2.6 добија се диференцијална једначина

$$E_m \sin \omega t - \frac{1}{C} \int i dt = 0$$

Решавањем ове једначине, за јачину струје се добија

$$i = \omega C E_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad 2.18$$

Из једначине 2.18 се види да је јачина струје у колу са капацитивним отпором синусна функција и да фазно напредује за $\pi/2$ у односу на ЕМС извора.

Из 2.18 за максималну вредност јачине струје следи

$$I_m = \omega C E_m \quad 2.19$$

Ако се једначина 2.19 напише преко двојног разломка као

$$I_m = \frac{E_m}{\frac{1}{\omega C}}$$

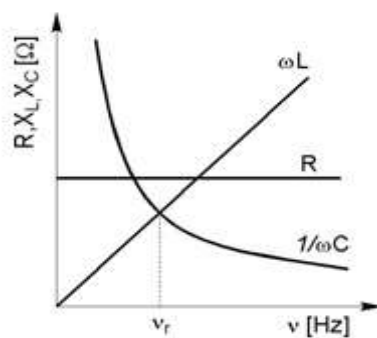
тада по аналогији са Омовим законом, капацитивни отпор је

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \nu C} \quad 2.20$$

Из једначине 2.20 се види да капацитивни отпор за један исти кондензатор није константна величина, већ се његова вредност мења са фреквенцијом ЕМС извора по хиперболичном закону, слика 2.8.

Ефективна вредност струје је:

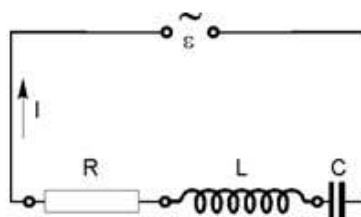
$$I = \frac{E}{X_C}$$



Слика 2.8

2.4. РЕДНА ВЕЗА R, L И C У КОЛУ НАИЗМЕНИЧНЕ СТРУЈЕ

Ако се редно вежу омски, индуктивни и капацитивни отпор на извор наизменичне струје, слика 2.9, добија се RLC коло.



Слика 2.9

Применом другог Кирхофовог правила добија се интегро-диференцијална једначина:

$$\varepsilon - Ri - L \frac{di}{dt} - \frac{1}{C} \int i dt = 0$$

Решење ове једначине је:

$$i = \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} \sin(\omega t - \varphi)$$

За струју која протиче кроз RLC коло се може рећи да је синусна функција времена и да је у односу на ЕМС извора померена за угао φ . Максимална вредност јачине струје је

$$I_m = \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} \quad 2.21$$

Именилац у једначини 2.21 представља укупни отпор RLC кола и назива се импеданца Z .

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad 2.22$$

Једначина 2.21 написана преко ефективних вредности гласи

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} \quad 2.23$$

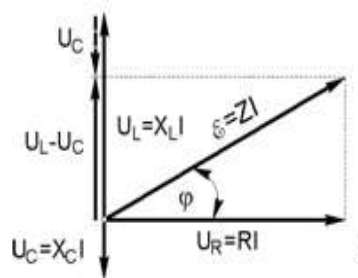
или

$$I = \frac{E}{Z} \quad 2.24$$

Формула 2.24 представља **Омов закон за наизменичну струју**.

Ако посматрамо падове напона на појединим отпорима RLC кола, може се уочити да је напон на отпору R у фази са јачином струје, напон на калему је фазно померен за $\pi/2$ а на кондензатору је померен за $-\pi/2$.

Ове напоне као и ЕМС, могуће је приказати као векторе, слика 2.10.



Слика 2.10

Ови вектори се називају фазори.

Применом Питагорине теореме добија се:

$$E = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$$

Као што се напони могу представити фазорима, могу и отпори, слика 2.11.

На овом дијаграму је извршена транслација фазора X_L и X_C .

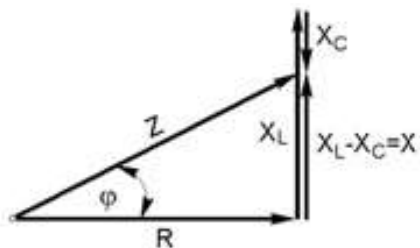
Како је:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X}{R}$$

за фазни угао се добија

$$\varphi = \arctg \varphi = \arctg \frac{X}{R}$$

2.25



Слика 2.11

РЕЗУЛТАТИ

Табела 2.1

ν [Hz]	ω [s ⁻¹]	I [mA]	ΔI [mA]	U [V]	ΔU [V]
U_R [V]	ΔU_R [V]	U_L [V]	ΔU_L [V]	U_C [V]	ΔU_C [V]

Табела 2.2

$R \pm \Delta R$ [Ω]	$X_L \pm \Delta X_L$ [Ω]	$L \pm \Delta L$ [H]	$X_C \pm \Delta X_C$ [Ω]	$C \pm \Delta C$ [μF]

Табела 2.3

$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ [Ω]	$Z = U/I \pm \Delta Z$ [Ω]	φ [$^\circ$]

3. ВЕЖБА

БАЖДАРЕЊЕ ТЕРМОЕЛЕМЕНТА

ЗАДАТАК ВЕЖБЕ

1. Извршити калибрацију термопара.
2. На основу калибрационе криве термопара измерити непознату температуру.
3. Нацртати калибрациону криву у програму "ORIGIN" и са њега исто одредити непознату температуру.
4. Упоредити вредности добијене у задатку 2 и 3.

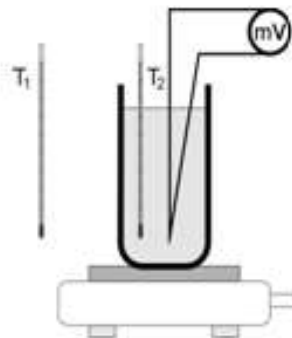
ПОСТУПАК У РАДУ

Циљ ове вежбе је да се изврши калибрација термоелемента, о коме је било речи у термоелектричним претварачима.

Апаратура за извођење вежбе је дата на слици 3.1. Један спој термоелемента је стављен у воду која се загрева помоћу решоа. Температура топле воде (t_2) се читава на термометру T_2 . Други спој термоелемента је прикључен на милivolтметар, на собној температури (t_1) и мери се термометром T_1 . Термоелектромоторна сила у колу се мери помоћу милivolтметра.

У задатим температурским интервалима температуре потребно је очитати температуру на термометру (температура t_2) и термоелектромоторну силу (E) у колу.

Измерене величине унети у табелу 3.1.



Слика 3.1

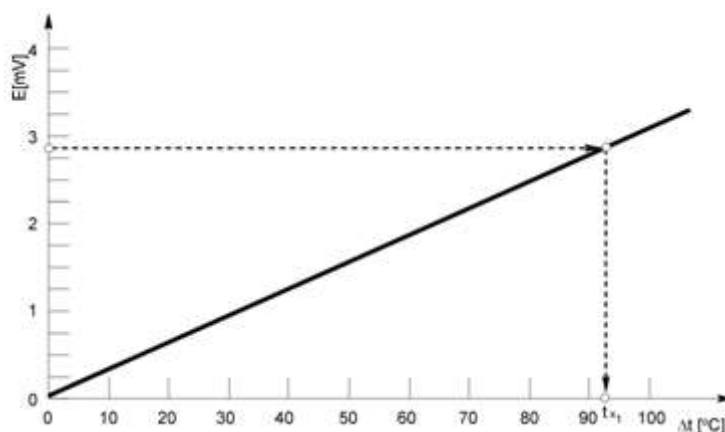
После завршеног мерења треба нацртати калибрациону криву за дати термопар, слика 3.2. На ординату се наноси ТЕМС у mV, а на апсцису температурска разлика Δt у $^{\circ}\text{C}$. Како је ова зависност линеарна, унете тачке на графику се споје и тако се добија калибрациона крива – права линија. На основу калибрационе криве може се одредити нека непозната температура термопараом уколико се вредност те температуре налази у интервалу тампература калибрације или мало ван тог интервала..

Одређивање непознате температуре се врши на тај начин што се у чашу са топлом водом дода нешто хладне воде, тако да је нова температура, настала мешањем топле и хладне воде непозната. У ову воду се затим стави један крај термопара а на милivolтметру се очита вредност ТЕМС у mV.

За очитану ТЕМС (E'), помоћу калибрационе криве, слика 8.2, одредити t_{xI} , а затим знајући t_1 (која се читава на термометру T_1), израчунати непознату температуру t_x помоћу формуле

$$t_x = t_{xI} + t_1$$

Резултат се унесе у табелу 3.2



Слика 3.2

ТЕОРИЈСКА ПРИПРЕМА

Електрични мерни инструменти и мерне методе могу да се користе и за мерење неелектричних величина, уколико се оне на основу физичких законитости претходно преведу у електричне величине. Све веће техничко значење оваквог решења заснива се на бројним предностима електричних мерних метода, а посебно на могућности лаког даљинског мерења.

Претварање неелектричних величина у електричне врши се помоћу претварача који се у суштини деле на две групе. То су **пасивни** и **активни** мерни претварачи.

Пасивне претвараоче сачињавају претварачи код којих мерена неелектрична величина изазива, директно или индиректно, промену отпора, индуктивности или капацитета, те се та промена мери уобичајеним методама за мерење тих величина.

Активни претвараочи сачињавају претвараоче код којих се механичка, топлотна, светлосна или хемијска енергија преводи у електричну, на основу пиезоелектричног, термоелектричног или галванског деловања. Код њих у принципу није потребан извор помоћне струје.

ПАСИВНИ МЕРНИ ПРЕТВАРАЧИ

У пасивне мерне претвараоче спадају: отпорни мерни претварачи, индуктивни мерни претварачи и кондензаторски мерни претварачи.

Отпорни мерни претварачи. Принцип рада им се заснива на промени њиховог отпора под утицајем мерене неелектричне величине. Имају веома много изведби и користе се за мерење најразноврснијих неелектричних величина. Овде ће бити обрађен само отпорни термометар, који се користи за мерење температуре.

Отпорни термометар

Принцип рада отпорног термометра заснива се на особини проводника или полупроводника да мењају своју отпорност са променом температуре.

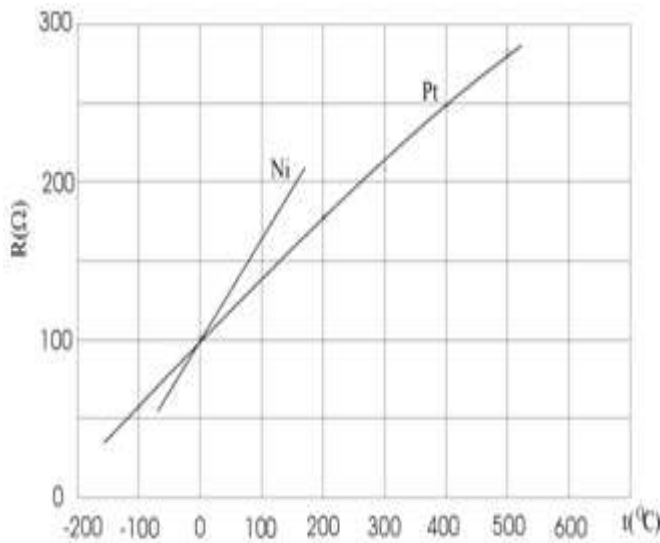
Жичани отпорни термометри се употребљавају за мерење температуре у интервалу од $-220\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $750\text{ }^{\circ}\text{C}$. Најчешће се израђују од платине или никла.

Жице од платине се користе у интервалу температура од $-220\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $750\text{ }^{\circ}\text{C}$, а њихов отпор се промени за 38.5 % при промени температуре од $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Жице од никла се користе у интервалу температура од $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ и њихов отпор се промени за око 60 % за исти интервал промене температуре.

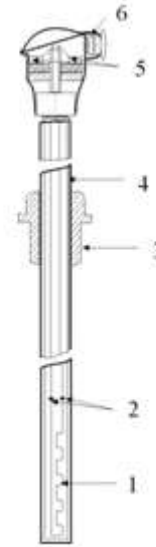
Зависност отпора од температуре платине и никла је приказана на слици 3.3.

У пракси се захтева да отпор жичаног отпорника износи $100\ \Omega$ на $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и да је његов раст са температуром у складу са утврђеним прописима. Ово је неопходно како би се избегло појединачно усклађивање жичаног отпорника и инструмента. Због тога је прописима регулисано и одступање вредности жичаног отпора у зависности од температуре. Према DIN 43760 код платинских жица то одступање је $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и расте на $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ при $500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Код термометара са никлом допуштено одступање износи $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\pm 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ при $150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Једна од изведби жичаног отпорног термометра приказана је на слици 3.4.



Слика 3.3



Слика 3.4

Отпорна жица (1) (слика 8.4) је намотана на тело од изолатора (стакло или керамика) и повезано са унутрашњим водовима (2), а затим прекривено стаклом или керамиком. Овакав уложак се обично угради још и у стаклену цев (4), како би се заштитио од хемијских и механичких напрезања.

За прикључак се користе прикључне стезаљке (5) и прикључна глава (6), а на телу постоје и хватаљке (3) за причвршћење.

Као отпорни термометри употребљавају се и полупроводници за које је карактеристично да имају негативни температурни коефицијент. Њихов отпор се са температуром мења према изразу:

$$R_T = R_{T_0} e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

где је:

R_T - отпор на температури T ,

R_{T_0} - отпор на почетној температури T_0 ,

B - константа која зависи од врсте полупроводника и почетне температуре T_0 .

Недостатак термометара са жицама од полупроводника је што се њихови почетни отпори знатно разликују, те се баждарење мора вршити појединачно.

Индуктивни мерни претварачи

Принцип рада им се заснива на промени њихове индуктивности под утицајем мерене неелектричне величине. И ови претварачи имају широку примену и срећу се у различитим изведбама.

Промена индуктивности се постиже померањем положаја неког намотаја или пак променом броја намотаја.

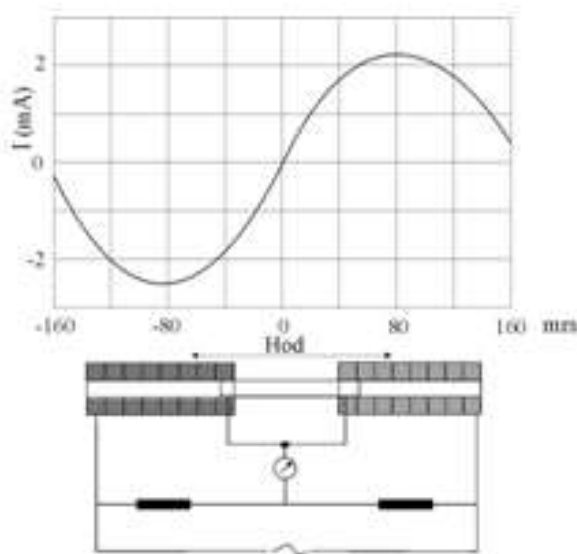
Промене индуктивности и импедансе једног намотаја су мале, па се зато користе решења у којима покретање језгра изазива повећање индуктивности једног, а смањење индуктивности другог намотаја.

На слици 3.5 је приказана зависност јачине струје од положаја језгра.

Кондензаторски мерни претварачи

Принцип рада им се заснива на промени капацитета мерног претварача под утицајем мерене неелектричне величине.

Промена капацитета у њима настаје или променом размака електрода (њима се мери сила, брзина и убрзање) или променом диелектричности средине (употребљава се такав диелектрик који под спољашњим утицајем, нпр. влаге, температуре, мења диелектричност).



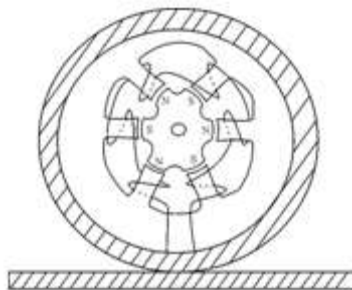
Слика 3.5

АКТИВНИ МЕРНИ ПРЕТВАРАЧИ

У зависности од тога која се енергија претвара у електричну разликују се индукцијски, термоелектрични и пиезоелектрични претварачи.

Индукцијски претварачи - претварање механичке енергије у електричну на основу електромагнетне индукције.

На слици 3.6 је приказан индукцијски претварач који брзину окретања преводи у струју. Ротацијом перманентног магнета у намотајима се индукује струја, при чему су фреквенција и индуковани напон пропорционални брзини ротације перманентног магнета.

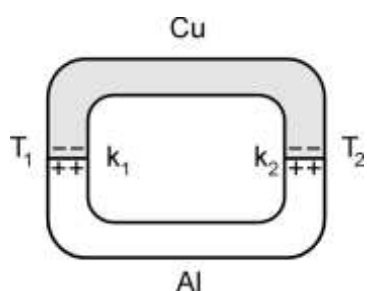


Слика 3.6

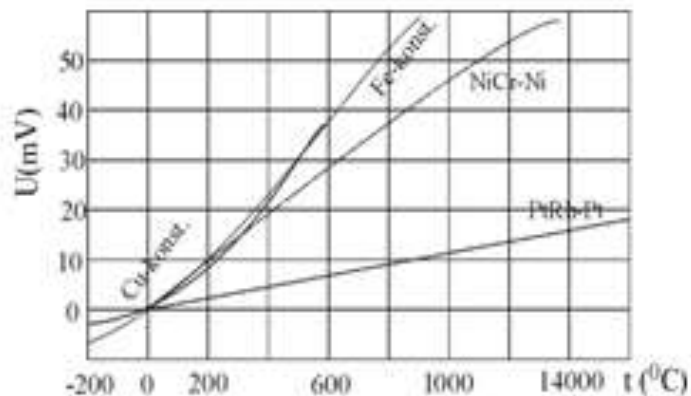
Термоелектрични претварачи. Они се користе за мерење температуре у интервалу од -200°C до 1600°C . Мерење се заснива на термоелектричном ефекту који је открио Зебек 1821. год.

Зебеков ефекат

Посматрајмо сада затворено струјно коло од два различита метала А и В који образују прстен, слика 3.7. Ако, на пример, контакт K_1 загревамо а K_2 хладимо, тј. успоставимо температурну разлику између K_1 и K_2 , тада ће се у оба метала јавити електромоторне сила. Због различите природе материјала А и В и ове електромоторне сила ће бити различите. Такође, због различитих температура контаката K_1 и K_2 , контактни потенцијал у K_1 и K_2 неће бити исти. Сабирanjem свих наведених компоненти потенцијала у прстену добија се резултујућа електромоторна сила, која је у општем случају различита од нуле. Ова електромоторна сила је узрок протицања струје кроз дато коло и назива се Зебекова електромоторна сила или термоелектромоторна сила (ТЕМС). Вредност добијене електромоторне силе зависи од употребљених метала. Комбинације најчешће коришћених метала су: бакар-константан (Cu-конст.), гвожђе-константан (Fe-конст.), никлхром-никл (NiCr-Ni) и платинародијум-платина (PtRh-Pt). На слици 3.8 је дата зависност електромоторне силе ових парова у функцији температуре.



Слика 3.7



Слика 3.8

Два жице од различитих метала спојене у коло као на слици 3.1, чине термоелемент или термопар. ТЕМС термопарова, чак и при великим температурским разликама међу контактима, не достиже велике вредности тако да се они не користе у пракси за добијање електричне енергије из топлотне. Ред величине термоелектромоторне силе је различит за различите парове метала. Може се оквирно рећи да је ТЕМС реда неколико μV по 1°C . Због тога је термоелемент нашао своју практичну примену у мерењу температуре и контролно-мерној техници уопште.

Напон термопара зависи од разлике температура на његовим крајевима. За температуру једног краја обично се узима 0°C или собна температура (око 20°C), док се други крај поставља на место где се мери температура. У овој вежби ће се мерити температура у интервалу од 20 до 90°C .

Пиезиелектрични претварачи. Они се користе за мерење силе и притиска, нарочито оних које се брзо мењају. Принцип рада им се заснива на појави да се на површини неких материјала јавља наелектрисање када су механички оптерећени. Добра пиезоелектрична својства имају кварц, турмалин баријев титанат и др.

РЕЗУЛТАТИ

Табела 3.1

Бр. мер.	t_1 [$^\circ\text{C}$]	t_2 [$^\circ\text{C}$]	$\Delta t = t_2 - t_1$ [$^\circ\text{C}$]	$E \pm \Delta E$ [mV]
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
9.				
11.				
12.				

Табела 8.2

t_1 [$^{\circ}\text{C}$]	E' [mV]	Δt_x [$^{\circ}\text{C}$]	t_x [$^{\circ}\text{C}$]

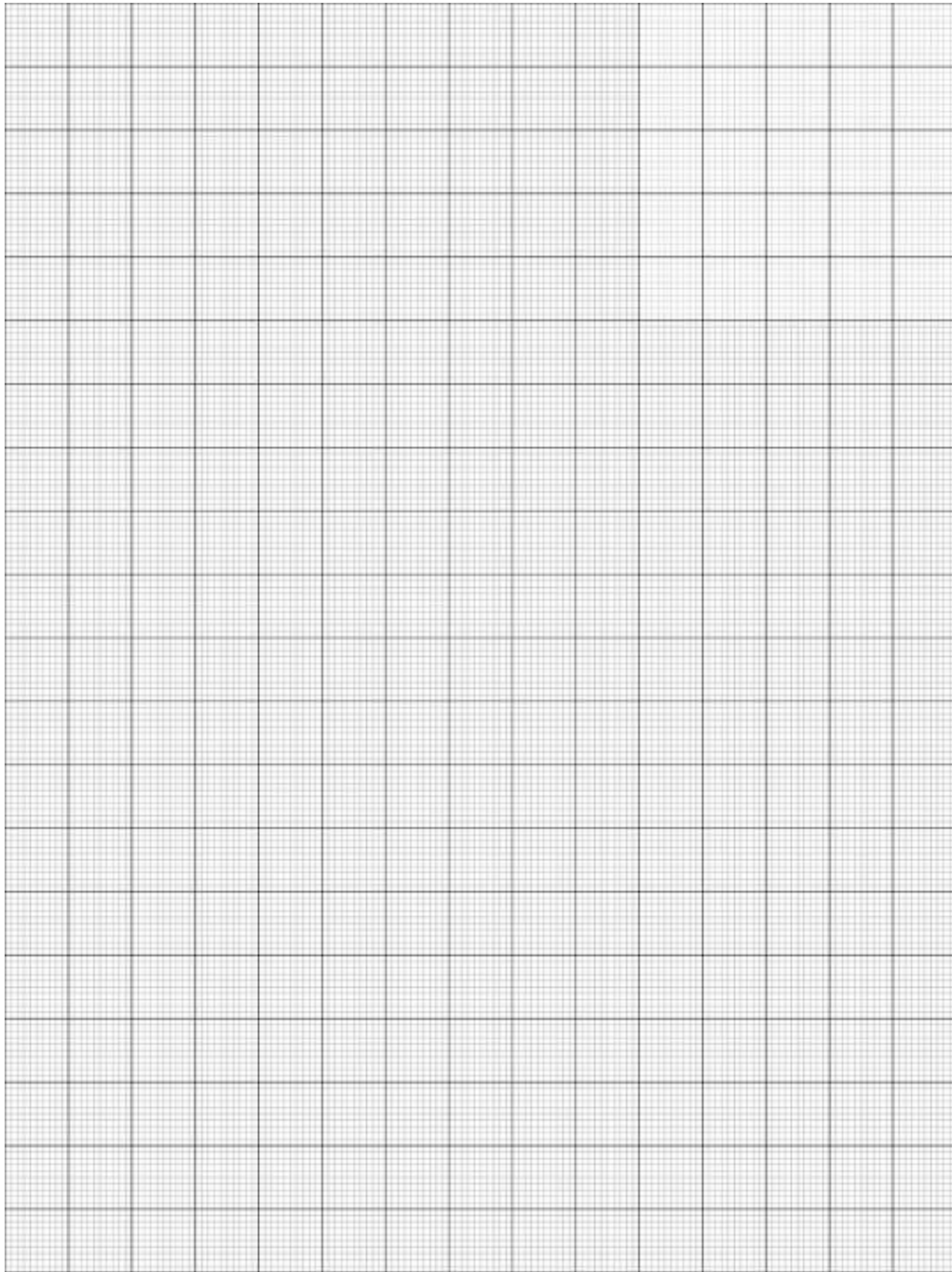


ГРАФИК И РЕЗУЛТАТИ ИЗ ПРОГРАМА “ORIGIN”