

УНИВЕРЗИТЕТ У ИСТОЧНОМ САРАЈЕВУ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Славко Покорни

ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ВЕЖБЕ
ИЗ
ОСНОВА ЕЛЕКТРОТЕХНИКЕ
1 и 2

- практикум -

Источно Сарајево, 2005. године

Аутор:

Ред. проф.

др Славко Покорни, дипл. инг. ел.

Сарадници у обради:

асистенти

Предраг Ковач, дипл. инг.

Мирослав Глигорић, дипл. инг.

Рецензенти:

Ред. проф. др Слободан Милојковић, дипл. инг.

Ред. проф. др Божидар Крстајић, дипл. инг.

Одобрено за коришћење у настави одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета Универзитета у Источном Сарајеву број 03-469/08 од 27.05.2008. године.

Први радни материјал припремљен 1997. године.

САДРЖАЈ

ОПШТЕ НАПОМЕНЕ И УПУТСТВА.....	5
--------------------------------	---

Опште напомене за извођење лабораторијских вежби.....	5
Хигијенско-техничке и противпожарне мере заштите у лабораторији	6
Пружање прве помоћи у случају удара електричне струје	7

ВЕЖБЕ

ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНИКЕ 1

1. Везивање кондензатора	9
2. Омов закон и волтамперска карактеристика	12
3. Везивање отпорника	15
4. Кирхофови закони.....	20
5. Потенцијални дијаграм.....	23
6. Трансфигурација троугао-звезда и обратно.....	25
7. Принцип суперпозиције и хомогености.....	27
8. Тевененова теорема.....	30
9. Теорема узајамности	33

ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНИКЕ 2

10. Електромагнетска индукција	35
11. Мерење индуктивности	38
12. Редно РЛЦ коло	41
13. Паралелно РЛЦ коло.....	45
14. Снимање универзалних кривих резонанције.....	48
15. Везивање трофазних пријемника у звезду	52
16. Везивање трофазних пријемника у троугао.....	56

ЛИТЕРАТУРА	59
------------------	----

ПРИЛОЗИ

П1. Основне величине и њихове јединице	60
П2. Обележавање отпорника бојама.....	63
П3. Насловна страна извештаја о урађеној лабораторијској вежби	64
П4. Основна електрична мерења	65

ОПШТЕ НАПОМЕНЕ И УПУТСТВА

ОПШТЕ НАПОМЕНЕ ЗА ИЗВОЂЕЊЕ ЛАБОРАТОРИЈСКИХ ВЕЖБИ

А. У току рада у лабораторији и извођења лабораторијских вежби, потребно се стриктно придржавати мера хигијенско-техничке заштите (ХТЗ) наведених у следећем одељку.

Б. Пре доласка на час потребно је пажљиво прочитати упуте за извођење конкретне вежбе, урадити све потребне прорачуне и припремити се за извођење вежбе. Прорачуне радити у свесци у којој се раде рачунске (аудиторне) вежбе из предмета. У свесци нацртати све потребне табеле, у које унети прорачунске резултате и у које ће се касније уносити резултати мерења.

В. Ради бржег и квалитетнијег извођења вежбе, неопходно је придржавати се следећег редоследа операција:

1. Елементе електричног кола, потребне за извођење вежбе (извори, потрошачи, инструменти и слично), распоредити на столу тако да, визуелно, приближно одговарају датој шеми.

2. Спајање електричног кола почети од извора електричне струје и строго се придржавати дате шеме. Елементе спајати на универзалној матадор плочи (макети) ако није у вежби другачије назначено.

3. Након извршеног спајања проверити самостално да ли је све спојено коректно, у складу са шемом. Проверити, такође, да ли су сви спојеви квалитетни.

4. Проверити да ли су преклопке за избор мерне величине и мерног подручја на мерним инструментима исправно постављене. Подручје увек прво поставити на највећу вредност, а касније, током извођења вежбе, тражити повољније подручје за мерење.

5. Проверити да ли казаљке свих инструмената показују нулу (уколико се користе такви инструменти), те ако је потребно извршити корекцију помоћу корекционог завртња.

6. Позвати наставника или асистента да провери исправност спојене шеме и након одобрења извршити укључење извора.

7. Извор једносмерне (сталне) струје прикључити преко његовог кабла на утичницу напона 220 В, 50 Хз на мерном столу. Да би утичнице на столу биле под напоном, потребно је укључити склопку-преклопник на столу.

8. Укључити изворе и њихове напоне подесити према задатим вредностима у конкретној вежби.

9. Извршити потребна читавања инструмената, односно вежбу извести у целини, како је наведено у упутству за конкретну вежбу.

10. Мерни инструменти морају бити положени хоризонтално на столу (или у другом положају прописаном за конкретни инструмент), јер је само у том положају показивање инструмента тачно.

11. Након завршетка вежбе, прво искључити склопку на столу, затим искључити и одспојити изворе, након тога одспојити све елементе електричног кола и уредно их одложити на радни стол. Отпорнике, кондензаторе и остале елементе при томе држати тако да се не би оштетили.

12. Проводнике за спајање треба уредно сложити, али их не треба савијати у колутове и слично, јер се на тај начин брзо оштете.

13. Лабораторију, односно радно место у целини оставити у стању у каквом је затечена, како би била спремна за даљи рад.

14. Завршна фаза вежбе је израда извештаја о изведеној вежби. Извештај се ради према захтевима из упута за сваку вежбу, а предња страна извештаја мора бити унифицирана, како је то дато у Прилогу бр. 3 овог практикума. Извештај се предаје наставнику односно асистенту на првом следећем часу лабораторијских вежби.

ХИГИЈЕНСКО-ТЕХНИЧКЕ И ПРОТИВПОЖАРНЕ МЕРЕ ЗАШТИТЕ У ЛАБОРАТОРИЈИ

Сви учесници у настави дужни су да се придржавају следећих хигијенско техничких заштитних мера (ХТЗ мера) при раду у лабораторији.

1. Улаз студената у лабораторију дозвољен је само по одобрењу предметног наставника или асистента.

2. У лабораторију се не сме улазити са прљавом или мокром одећом и обућом.

3. За време теоретске наставе забрањено је дирање макета, уређаја и мерне опреме.

4. У лабораторији нису дозвољени пушење, уношење отвореног пламена или лако запаљивих материја, уношење хране и обедовање.

5. Није дозвољено изношење из лабораторије наставних средстава и лабораторијске опреме.

6. У случају кvara на училима и мерној опреми студентима је забрањено да врше било какве поправке без присуства и одобрења наставника или асистента.

7. По завршетку наставе мора се искључити напон на свим мерним столовима.

8. Рад са опремом у лабораторији је дозвољен само групама од најмање 2 (два) студента, или већим због пружања помоћи уколико дође до струјног удара.

9. Ако у току рада у лабораторији дође до нестанка електричне енергије, све мерне столове треба искључити до поновног повратка напона.

10. Студентима је забрањен рад на макетама и мерној опреми за коју нису обучени.

11. При раду не треба додиривати рукама неизоловане проводнике и делове инструмената под напоном, јер струја интензитета (20 – 50) mA може бити смртоносна за човека. Како је отпорност људског тела од неколико десетина до неколико стотина ома, то напон од 30 до 40 В може бити опасан по живот.

12. Не сме се вршити замена елемената, уколико су укључени извори напајања на макетама.

13. У току рада пажљиво руковати инструментима, а при померању постављати их без потреса. Приликом укључивања инструмената у електрично коло строго водити рачуна о правилном скретању казальке, односно поларитету, као и врсти мерне електричне величине. Инструменте постављати на одговарајући или највећи опсег, ако није познат ред мерене величине, а затим подесити одговарајући мерни опсег.

14. У случају струјног удара, унесрећеном пружити помоћ на следећи начин: искључити кабл са утикачем из утичнице, односно прекинути струјно коло, изолованим предметом одвојити извор струје од тела унесрећеног, хитно позвати лекара на телефон _____, раскопчати одећу унесрећеног, отворити прозоре, давати му вештачко дисање, масирати предео око срца, а када дође свести дати му освежавајући напитаk (видети детаљнији опис у наредном одељку).

15. У случају пожара у лабораторији, искључити напон на свим мерним столовима у лабораторији, позвати ватрогасну јединицу на телефон _____, приступити локализацији и гашењу пожара са противпожарним апаратима (ППА) из лабораторије, а, по потреби, и ППА из ходника.

16. По завршетку наставе, макете, средства, мерну опрему, алат и остали прибор уредно сложити, по потреби и очистити. Обавезно искључити све изворе енергије, а склопке - преклопнике на радним столовима ставити у положај искључено.

17. Студенти су обавезни да се у свему придржавају и осталих упутстава којима се регулишу рад и понашање у току наставе и ваннаставног рада.

18. Пре почетка извођења вежби сви студенти су дужни да се упознају са мерама ХТЗ и да то својим потписом потврде. Докуменат о томе чува се код асистента.

ПРУЖАЊЕ ПРВЕ ПОМОЋИ У СЛУЧАЈУ УДАРА ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ

Приликом пружања прве помоћи лицима унесрећеним од удара електричне струје најважнија је брзина деловања. То значи да настрадала лица треба што брже одвојити од делова под напоном, а затим не губећи ниједан тренутак времена почети са вештачким дисањем, уколико настрадало лице не дише.

Одвајање настрадалог лица од делова под напоном треба извршити прекидањем струје (прекидањем проводника, или извлачењем утикача из утичница, или искључивањем аутоматског осигурача, или искључивањем главне склопке итд.). Међутим, треба водити при томе рачуна да и сам спасилац не дође под удар електричне струје. Стога се користе приручна изолациона средства (суво дрво, сува тканина и сл.).

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

Ако настрадало лице не дише мора се одмах почети са вештачким дисањем. Један од начина је следећи:

а) Унесрећеног треба положити потрбушке, при чему му руке наместити испод главе. Између зуба треба му ставити неки тврд предмет (оловка, дрво и сл.). Спасилац заузима положај изнад главе унесрећеног и своје руке ставља на плећа унесрећеног.

б) Када је заузео потребан положај, спасилац се лагано нагиње, без савијања руку у лактовима, преносећи своју тежину на унесрећеног. Цео овај покрет треба да траје око 2 секунде.

в) Спасилац се потом постепено нагиње уназад, а његови дланови при томе клизе по надлактицама унесрећеног све до лактова. Руке унесрећеног се, даљим нагињањем уназад, полако подижу све док се не осети отпор и напрезање у његовим раменима. Дизање руку унесрећеног, такође, треба да траје око 2 секунде.

г) Следећа операција је спуштање руку унесрећеног. Циклус описан под б) и в) понавља се без прекидања.

Вештачко дисање се примењује непрекидно све док се не успостави природно дисање, а спасиоци се по потреби смењују. Док је настрадало лице у несвести не смеју му се давати ни течност ни било какви лекови. Тек када се унесрећени освести може му се дати кашиком чај или кафа, али да остане у лежећем положају.

У случају других повреда (опекотине, прелом и др.) прва помоћ се пружа на начин који је предвиђен за такве случајеве. У свим случајевима страдања од електричне струје обавезно треба позвати лекара, односно тражити медицинску помоћ.

1. ВЕЗИВАЊЕ КОНДЕНЗАТОРА

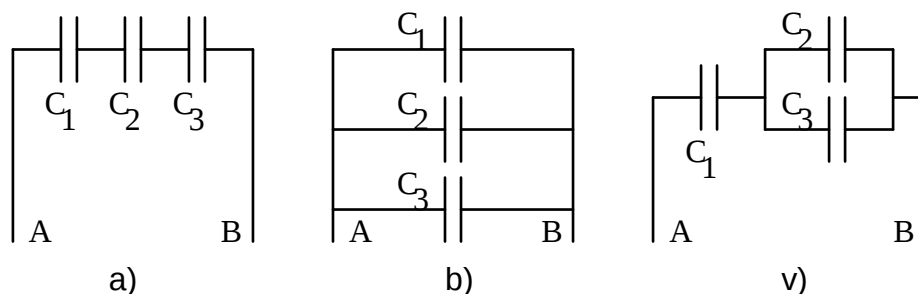
1.1. ЦИЉ ВЕЖБЕ

Циљ ове вежбе је да се директним мерењем експериментално провере релације за израчунавање капацитета редно и паралелно везаних кондензатора као и особине оваквих веза.

1.2. ПРИБОР И ШЕМА МЕРЕЊА

Шема мерења приказана је на сликама 1.1а., 1.1б. и 1.1в. при чему се користе следећи инструменти и опрема :

1. Универзални РЛЦ мост УНИСЕП 1 комад
2. Кондензатор $470 \text{ nF} \pm 10\%$ (као C_1) 1 комад
3. Кондензатор $100 \text{ nF} \pm 10\%$ (као C_2) 1 комад
4. Кондензатор $115 \text{ nF} \pm 10\%$ (као C_3) 1 комад
5. Матадор плоча
6. Спојни проводници



Слика 1.1.

1.3. УВОДНО ОБЈАШЊЕЊЕ

а) Серијска веза кондензатора

Код серијске везе кондензатора (слика 1.1а) сваки од њих се оптерећује једнаким оптерећењем Q . Ово се објашњава на следећи начин: довођењем оптерећења $+Q$ са извора на леву плочу кондензатора C_1 исти узрокују појаву индукованог оптерећења $-Q$ на другој (десној) плочи кондензатора C_1 . Вишак оптерећења $+Q$ се преноси на леву плочу кондензатора C_2 и циклус се понавља. Дакле за серијску везу n кондензатора важи :

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_n = Q$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$$

Како је $Q = CU$ одатле следи:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

где су:

C - еквивалентна капацитивност везе кондензатора,

C_i - капацитивност појединих кондензатора у вези кондензатора ($i = 1 \dots n$).

б) Паралелна веза кондензатора

Код паралелне везе сви кондензатори су прикључени на исти напон (слика 1.1б). Приликом пуњења кондензатора укупно наелектрисање мора проћи кроз тачке А и Б. За паралелну везу онда можемо писати :

$$U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n = U$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$$

Како је $Q = CU$, $Q_1 = C_1U$ итд., одатле следи

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

в) Мешовита веза кондензатора

Код мешовите везе кондензатора (као на пример на слици 1.1в) еквивалентна капацитивност C_e целе везе одређује се тако што се, према правилима за серијску и паралелну везу, постепено редуцира дата комбинација кондензатора.

Пре доласка на вежбу потребно је, према поменутих релацијама и датим вредностима кондензатора, израчунати вредност еквивалентне капацитивности за поједине случајеве везивања кондензатора.

1.4. ПОСТУПАК ИЗВОЂЕЊА ВЕЖБЕ

Повезати у серију кондензаторе на универзалној макети према слици 1.1а Проверити исправност споја и подешеност мерног моста. Након контроле од стране наставника или асистента прикључити РЛЦ мост на утичницу напона 220 V (или одговарајући напон подешен аутотрансформатором од стране наставника или асистента). Помоћу РЛЦ моста измерити еквивалентну капацитивност групе кондензатора прикључених између тачака А и Б, те резултат уписати у табелу.

Затим спојити кондензаторе у паралелу, према слици 1.1б. и поново обавити мерење капацитивности између тачака А и Б.

На крају спојити кондензаторе према слици 1.1в. те обавити мерење еквивалентне капацитивности оваквог споја. Све резултате уписати у табелу 1.1.

Табела 1.1.

Еквивалентна капацитивност [nF]	Серијска веза	Паралелна веза	Мешовита веза
Израчунате вредности			
Измерене вредности			

1.5. САДРЖАЈ ИЗВЕШТАЈА

Извештај о овој вежби треба да садржи следеће :

- а) Циљ вежбе и шеме веза.
- б) Прорачун еквивалентне капацитивности за сва три случаја.
- в) Табелу 1. 1 са израчунатим и измереним вредностима.
- г) Поређење прорачунских и мерних резултата и закључак у вези са тим
- д) Уколико се између тачака А и В прикључи извор једносмерног напона $U = 25\text{ V}$ рачунски одредити расподелу напона на кондензаторима за сва три случаја везе, ако су кондензатори претходно били неоптерећени.
- е) Израчунати колико је тада оптерећење Q_3 на кондензатору C_3 за ова три случаја.
- ф) Израчунати колики ће бити напон на кондензатору C_1 код мешовите везе (слика 1.1в.) уколико кратко спојимо облоге кондензатора C_3 , ако смо извор претходно искључили.

2. ОМОВ ЗАКОН И ВОЛТАМПЕРСКА КАРАКТЕРИСТИКА

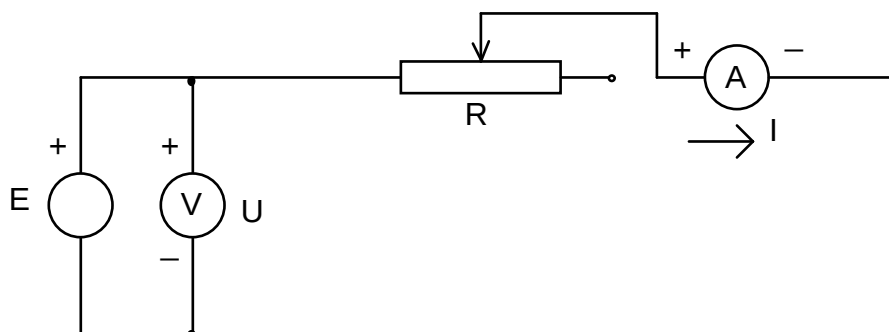
2.1. ЦИЉ ВЕЖБЕ

Циљ вежбе је експериментално проверити Омов закон мерењем струје, напона и отпорности у простом електричном колу једносмерне струје. На основу измерених вредности потребно је нацртати карактеристике $I = f(U)$ и $I = f(R)$.

2.2. ПРИБОР И ШЕМА МЕРЕЊА

Шема мерења је приказана на слици 2.1. Приликом реализације вежбе користе се следећи инструменти и опрема:

1. Извор једносмерног напона РЛУ 01-30/10 1 комад
2. Отпорна декада УНИСЕП 1 комад
3. Дигитални иструмент ДИГИМЕР 30 као амперметар 1 комад
4. Дигитални иструмент ДИГИМЕР 30 као волтметар 1 комад
5. Спојни проводници



Слика 2.1.

2.3. УВОДНО ОБЈАШЊЕЊЕ

Немачки физичар Георг Симон Ом 1827. године експериментално је установио да струја у електричном колу, односно делу електричног кола расте са порастом прикљученог напона на том делу електричног кола, а смањује се са порастом отпорности тог дела електричног кола. Математички израз за Омов закон је:

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

где су:

- I - јачина електричне струје у [A]
- U - електрични напон у [V]
- R - електрична отпорност у [Ω].

Овај закон се лако може проверити ако се мери величина струје у једном простом колу какво је дато на слици 2.1., при чему се у првом случају мења напон извора (уз $R = \text{конст.}$), а у другом отпорност потрошача (уз $U = \text{конст.}$).

Пре доласка на час лабораторијске вежбе потребно је, према релацијама из Омовог закона и вредностима датим у табели 2.1. и табели 2.2., израчунати величину струје, односно отпорности. Узети да је $R = 600 \Omega$.

2.4. ПОСТУПАК ИЗВОЂЕЊА ВЕЖБЕ

Повезати инструменте и делове електричног кола према слици 2.1. (водећи рачуна о поларитету). При томе није потребна макета. На отпорној декади изабрати вредност отпорности од 600Ω . Проверити исправност спојене шеме и подешеност инструмената. Након контроле наставника или асистента, укључити извор напајања и подесити га на 4 V (напон читавати на волтметру), а затим прочитати струју на амперметру и уписати резултат у табелу 2.1. Након тога повећати напон на 8 V , опет измерити струју и уписати резултат. Поступак поновити за све задате вредности напона, а резултате мерења унети у табелу 2.1.

У другом делу вежбе прво подесити извор напона на сталну вредност $U = 12 \text{ V}$, а затим преклопницима $\times 100$, $\times 10$ и $\times 1$ отпорне декаде регулисати струју у електричном колу тако да амперметар показује 10 mA и за ту вредност струје прочитати величину изабране отпорности на отпорној декади. Очитану величину уписати у одговарајућу рубрику у табели 2.2. Описани поступак поновити за све вредности струја наведених у табели 2.2. и све добијене резултате уписати у исту табелу.

Табела 2.1.

$R = 600 \Omega$

U[V]	4	8	12	16	20
Прорач. I [mA]					
Измер. I [mA]					

Табела 2.1.

$U = 12 \text{ V}$

I [mA]	60	30	15	12	10
Прорач. R [Ω]					
Измер. R [Ω]					

Упоредити вредности добијене мерењем са израчунатим вредностима. На основу измерених вредности проверити важност Омовог закона.

У складу са тачком 14. општих напомена о извођењу лабораторијских вежби, о реализованој вежби урадити извештај који треба да одговори неколиким захтевима.

2.5. САДРЖАЈ ИЗВЕШТАЈА

Извештај о реализованој вежби треба да садржи:

- а) Циљ вежбе и електричну шему;
- б) Прорачун струје, односно отпорности за све вредности дате у табелама 2.1. и 2.2. (У електричној шеми назначити смер протицања струје у колу);
- в) Табеле 2.1. и 2.2. са израчунатим и измереним вредностима;
- г) Нацртану карактеристику $I = f(U)$ према резултатима мерења (узети размеру: за x - осу $1 \text{ cm} = 2 \text{ V}$, за y - осу $1 \text{ cm} = 2,5 \text{ mA}$);
- д) Нацртану карактеристику $I = f(R)$ према резултатима мерења (узети размеру: за x - осу $1 \text{ cm} = 100 \Omega$, за y - осу $1 \text{ cm} = 5 \text{ mA}$);
- ђ) Закључак о провери Омовог закона на основу резултата мерења и нацртаних карактеристика;
- е) Закључак који произилази из поређења прорачунских резултата и резултата мерења;
- ж) Одговоре на питања:
 - 1 - ако је клизач променљивог отпорника (на слици 2.1.) у крајњем левом положају ($R = 0$), које би вредности требало да покажу амперметар и волтметар;
 - 2 - ако се један од спојних проводника на отпорнику R одспоји, које би вредности требало да покажу амперметар и волтметар;
 - 3 - како се називају стања у електричном колу која настају у случајевима наведеним под 1 и 2, односно у добијеним одговорима на постављена питања ж1 и 2.

3. ВЕЗИВАЊЕ ОТПОРНИКА

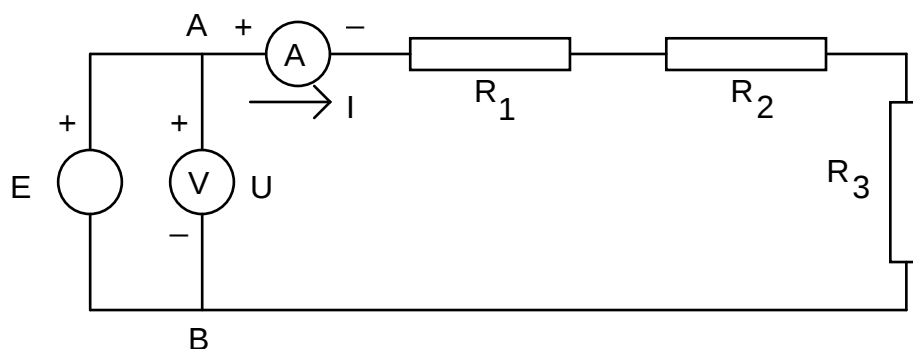
3.1. ЦИЉ ВЕЖБЕ

Циљ вежбе је да се на основу резултата мерења провере и докажу особине електричних кола са редно, паралелно и мешовито везаним отпорницима.

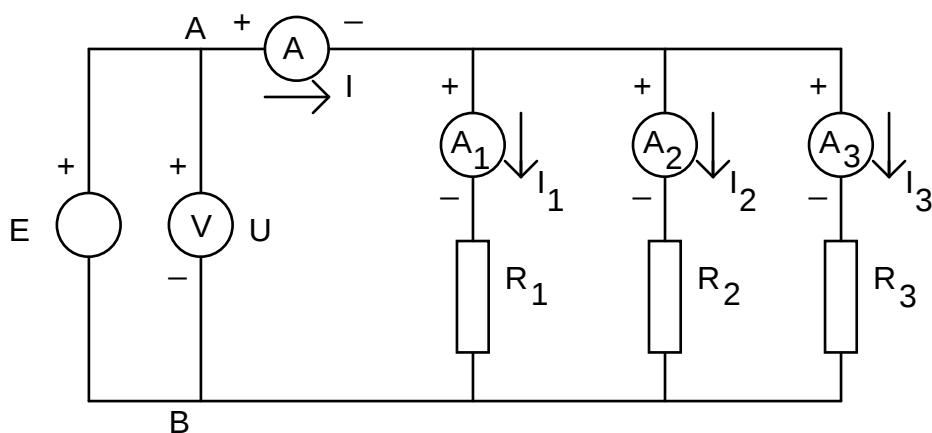
3.2. ПРИБОР И ШЕМА МЕРЕЊА

Шеме мерења су приказане на слици 3.1 (редна веза отпорника), слици 3.2 (паралелна веза потрошача) и слици 3.3 (мешовита веза отпорника). Приликом реализације вежбе користе се следећи инструменти и опрема:

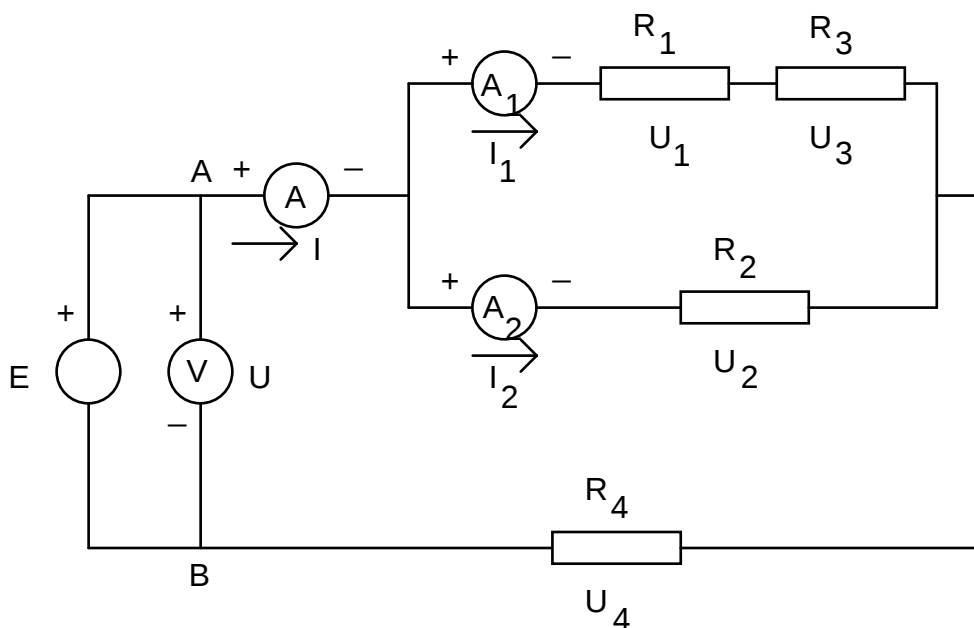
1. Извор једносмерног напона РЛУ 01-30/10 1 комад
2. Слојни отпорник $1\text{ k}\Omega$ као R_1 1 комад
3. Слојни отпорник $4,3\text{ k}\Omega$ као R_2 1 комад
4. Слојни отпорник $10\text{ k}\Omega$ као R_3 1 комад
5. Слојни отпорник $0,75\text{ k}\Omega$ као R_4 1 комад
6. Дигитални иструмент ДИГИМЕР 30 2 комад
7. Матадор плоча 1 комад
8. Спојни проводници



Слика 3.1.



Слика 3.2.



Слика 3.3.

3.3. УВОДНО ОБЈАШЊЕЊЕ

а) Редна веза отпорника

Код редне везе отпорника (слика 3.1.) нема гранања струје, те је количина електрицитета која у јединици времена протекне кроз попречни пресек проводника иста у свакој тачки електричног кола, односно јачина струје је код овакве везе једнака у целом колу:

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n.$$

Падови напона на појединим отпорницима се распоређују директно пропорционално величини отпорности појединих отпорника, а напон на прикључцима извора једнак је збиру падова напона на појединим отпорницима:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n.$$

Дељењем горње једнакости са јачином струје I , добија се израз за еквивалентну отпорност кола са редно везаним отпорницима:

$$\frac{U}{I} = \frac{U_1}{I} + \frac{U_2}{I} + \frac{U_3}{I} + \dots + \frac{U_n}{I},$$

односно

$$R_e = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n,$$

или

$$R_e = \sum_{i=1}^n R_i .$$

б) Паралелна веза отпорника

Код паралелне везе отпорника сви отпорници су прикључени на исти напон, тј.

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n ,$$

Струје које теку кроз паралелно везане отпорнике распоређују се обрнуто пропорционално величинама отпорности појединих отпорника, а јачина струје кроз прикључке везе једнака је збиру струја у гранима кола:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n .$$

Дељењем ове једнакости са напоном U добија се следећа релација

$$\frac{I}{U} = \frac{I_1}{U} + \frac{I_2}{U} + \frac{I_3}{U} + \dots + \frac{I_n}{U} ,$$

односно

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} ,$$

или

$$\frac{1}{R_e} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

в) Мешовита веза отпорника

Електрична кола (мреже) су најчешће реализована као комбинација редно и паралелно везаних отпорника. За оваква електрична кола важе сва правила која важе и за електрична кола са простом редном и паралелном везом отпорника. Код прорачуна оваквих електричних кола прво се одређује еквивалентна отпорност целог кола (методом постепених замена појединих комбинација отпорника еквивалентним) и на основу тога се, по Омовом закону, израчуна струја, а затим се одређују падови напона и јачине струја у појединим деловима кола.

Пре доласка на вежбу потребно је, према наведеним релацијама и објашњењима, израчунати еквивалентне отпорности електричног кола, те струје и напоне у свим деловима кола за сва три случаја везе отпорника.

3.4. ПОСТУПАК ИЗВОЂЕЊА ВЕЖБЕ

а) Редна веза отпорника

Повезати отпорнике, изворе и инструменте на матадор плочи према слици 3.1. Проверити исправност повезивања и подешеност инструмената. Након контроле и одобрења наставника или асистента укључити извор напајања и подесити га на 18 V.

Напон на извору и падове напона на појединим отпорницима измерити помоћу дигиталног инструмента ДИГИМЕР 30, подешеног да ради као волтметар, и то редом га прикључујући, паралелно крајевима појединих отпорника. При том водити рачуна о поларитету. Помоћу амперметра измерити јачину струје у колу. Искључити извор и одспојити га, а затим помоћу инструмента ДИГИМЕР 30, подешеног да ради као омметар, измерити отпорност редно везаних отпорника између тачака А и Б (слика 3.1.). Све резултате мерења унети у табелу 3.1, у рубрике "измерено".

Табела 3.1.

Редна веза, $U=18\text{ V}$

	$R_e [\Omega]$	$I [\text{mA}]$	$U_1 [\text{V}]$	$U_2 [\text{V}]$	$U_3 [\text{V}]$	$U [\text{V}]$
Израч.						
Измерено						

б) Паралелна веза отпорника

Повезати отпорнике према слици 3.2 (како у прибору има само један амперметар, спојити га да мери струју I , а на местима где долазе остали амперметри извршити кратко спајање) и преконтролисати исправност споја. Након контроле и одобрења наставника или асистента укључити извор и подесити на 2 V. Помоћу дигиталног инструмента ДИГИМЕР 30, подешеног да ради као волтметар, проверити величину напона на прикључцима извора и његову једнакост на појединим отпорницима. Такође, помоћу дигиталног инструмента ДИГИМЕР 30, подешеног да ради као амперметар, измерити прво струју I , а затим, пребацујући амперметар у одговарајућу грану, измерити редом струје I_1 , I_2 и I_3 . Искључити и одспојити извор те путем инструмента ДИГИМЕР 30, подешеног да ради као омметар, измерити еквивалентну отпорност паралелно везаних отпорника између тачака А и Б (утицај властите отпорности амперметра се може занемарити). Све резултате мерења уписати у табелу 3.2, у рубрике "измерено".

Табела 3.2.

Паралелна веза, $U=2\text{ V}$

	$R_e [\Omega]$	$U [\text{V}]$	$I [\text{mA}]$	$I_1 [\text{mA}]$	$I_2 [\text{mA}]$	$I_3 [\text{mA}]$
Израч.						
Измерено						

в) Мешовита веза отпорника

Повезати отпорнике и мерне инструменте према слици 3.3, с тим што, због недостатка инструмената, прикључке где долазе амперметри A_1 и A_2 кратко спојити. Проверити исправност споја и подешеност инструмената. Након контроле и одобрења од стране наставника или асистента укључити извор и подесити га на 12 V. Напон на прикључцима извора и падове напона на појединим отпорницима измерити помоћу дигиталног инструмента ДИГИМЕР 30, подешеног да ради као волтметар. Такође, помоћу другог инструмента ДИГИМЕР 30, подешеног да ради као амперметар, измерити прво струју I , а затим, као и у претходном случају струје I_1 и I_2 . Искључити и одспојити извор из кола, те помоћу инструмента ДИГИМЕР 30, подешеног да ради као омметар, измерити укупну отпорност свих отпорника везаних између тачака А и Б. Све резултате мерења уписати у табелу 3.3, у рубрике "измерено".

Табела 3.3.

Мешовита веза, $U=12\text{ V}$

	R [Ω]	U [V]	U ₁ [V]	U ₂ [V]	U ₃ [V]	U ₄ [V]	I [mA]	I ₁ [mA]	I ₂ [mA]
Израч.									
Измер.									

У складу са тачком 14. општих напомена о извођењу лабораторијских вежби, о реализованој вежби урадити извештај који треба да одговоре и на неколико питања.

3.5. САДРЖАЈ ИЗВЕШТАЈА

Извештај о реализованој вежби треба да садржи:

- Циљ вежбе и електричне шеме;
- Прорачун еквивалентне отпорности, струја и напона у свим деловима кола за све три везе отпорника;
- Табеле 3.1, 3.2. и 3.3. са израчунатим и измереним вредностима;
- Закључак који произилази из поређења прорачунских резултата и резултата мерења;
- Објашњење зашто се може занемарити утицај унутрашње отпорности амперметра и волтметра на резултате мерења;
- За случај редне и паралелне везе отпорника:
 - прорачун струје која тече кроз отпорник R_2 уколико се отпорник R_1 кратко споји;
 - прорачун укупне топлотне енергије која се ослободи на потрошачима за време $t = 10$ минута.
- За случај мешовите везе отпорника:
 - објашњење да ли се ремети стање у колу на слици 3.3. уколико тачка Б буде уземљена;
 - опис стања у колу на слици 3.3. уколико би биле уземљене тачка А и тачка Б;
 - прорачун укупне електричне снаге кола на слици 3.3.

4. КИРХОФОВИ ЗАКОНИ

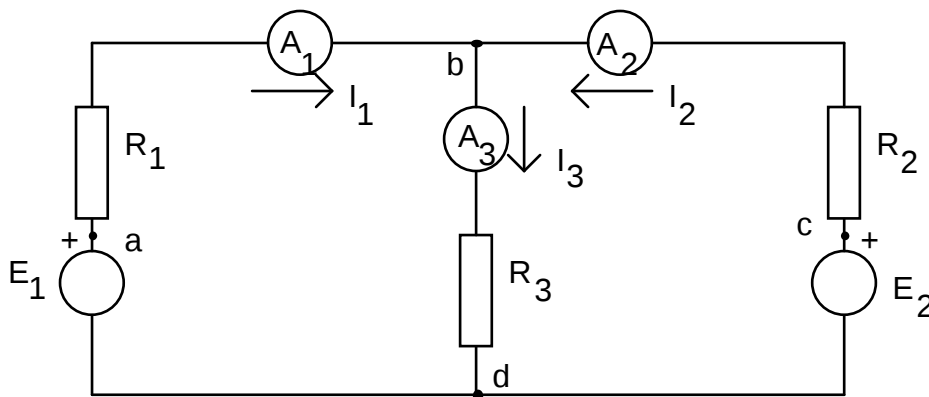
4.1. ЦИЉ ВЕЖБЕ

Циљ вежбе је, прво, експериментално проверити I Кирхофов закон за један чвор сложеног електричног кола, мерењем вредности струја и установљавањем смера струја кроз гране електричног кола; и, друго, рачунски проверити II Кирхофов закон, на основу измерених вредности падова напона и електромоторних сила.

4.2. ПРИБОР И ШЕМА МЕРЕЊА

Шема мерења је приказана на слици 4.1. Приликом реализације вежбе користе се следећи инструменти и опрема:

- | | |
|---|----------|
| 1. Извор једносмерног напона МА4551 | 1 комад |
| 2. Извор једносмерног напона РЛУ 01-30/10 | 1 комад |
| 3. Дигитални инструмент ДИГИМЕР 30 | 2 комада |
| 4. Универзални инструмент АВОМЕТАР | 1 комад |
| 5. Отпорник 4,3 k Ω као R ₁ | 1 комад |
| 6. Отпорник 0,750 k Ω као R ₂ | 1 комад |
| 7. Отпорник 1 k Ω као R ₃ | 1 комад |
| 8. Матадор плоча | 1 комад |
| 9. Спојни проводници | 1 комад |



Слика 4.1.

4.3. УВОДНО ОБЈАШЊЕЊЕ

По I Кирхофовом закону алгебарски збир струја у сваком чвору електричног кола једнак је нули:

$$\sum I = 0$$

При томе се референтни смер за формирање суме струја узима од чвора.

Пре доласка на вежбу треба прорачунати вредности струја и проверити да ли је задовољен I Кирхофов закон за чвор "б" електричног кола на слици 4.1. Такође, утврдити стварне смерове струја у појединим деловима кола.

Други Кирхофов закон каже да је алгебарска сума свих електромоторних сила E и падова напона ($-RI$), по некој затвореној контури, једнака нули:

$$\sum E - \sum (RI) = 0$$

При томе се референтни смер за формирање овог збира (смер обиласка контуре) усваја произвољно.

Пре доласка на вежбу потребно је у електричном колу (на слици 4.1.) изабрати две контуре и оријентисати их. Користећи се познатим вредностима отпорности и узимајући за $E_1 = 20 \text{ V}$ и $E_2 = 15 \text{ V}$, прорачунати струје у гранама кола и падове напона на појединим отпорницима. Такође, утврдити тачке вишег потенцијала свих елемената кола.

4.4. ПОСТУПАК ИЗВОЂЕЊА ВЕЖБЕ

Повезати инструменте и прибор у електрично коло према слици 4.1. Проверити да ли су инструменти постављени да мере назначене величине. На основу раније прорачунатих струја и познавања њихових смерова треба тако повезати крајеве амперметара да се обезбеди њихово исправно показивање (исправно скретање њихових казаљки). Прикључак амперметра означен са "+" узети као тачку вишег потенцијала (амперметар се може третирати као пријемник мале отпорности R). Када наставник или асистент преконтролише исправност веза и одобри укључивање, могу се укључити извори напајања и подесити $E_1 = 20 \text{ V}$ и $E_2 = 15 \text{ V}$ и измерити струје. Након тога одспојити инструменте за мерење струје из електричног кола, а прикључке између којих су се налазили кратко спојити. Један од инструмената припремити за рад као волтметар и измерити напоне на свим отпорницима електричног кола водећи рачуна да се крај волтметра означен са "+" везује за тачку вишег потенцијала. Резултате мерења унети у табелу 4.1, у рубрике "измерено".

Табела 4.1.

$E_1=20 \text{ V}$, $E_2=15 \text{ V}$

	$I_1 [\text{mA}]$	$I_2 [\text{mA}]$	$I_3 [\text{mA}]$	$U_1 [\text{V}]$	$U_2 [\text{V}]$	$U_3 [\text{V}]$
Рачунато						
Измерено						

Упоредити вредности добијене мерењем са израчунатим вредностима.

На основу измерених вредности струја проверити да ли је задовољен I Кирхофов закон за одабрани чвор, а на основу измерених падова напона и познатих електромоторних сила проверити да ли је задовољен II Кирхофов закон за раније одабране контуре.

У складу са тачком 14. општих напомена о извођењу лабораторијских вежби, о реализованој вежби урадити извештај.

4.5. САДРЖАЈ ИЗВЕШТАЈА

Извештај о реализованој вежби треба да садржи:

- а) Циљ вежбе и електричну шему;
- б) Прорачун струја грана електричног кола на слици 4.1., уз утврђивање стварног смера струја у гранама;
- в) Прорачун падова напона на елементима кола и проверу II Кирхофовог закона за изабране контуре, тј. да је алгебарска сума електромоторних сила и падова напона на затвореној путањи (контуре) једнака нули;
- г) Табелу 4.1. са израчунатим и измереним вредностима;
- д) Проверу I и II Кирхофовог закона на основу измерених вредности и упоређење са провером на основу израчунатих вредности струја и напона;
- ђ) Доказ да је $U_{ad} = U_{abcd} = U_{abd}$, тј. да напон (разлика потенцијала) између тачака "а" и "д" не зависи од пута по коме се рачуна;
- е) Доказ да је $U_{abcda} = 0$;
- ж) Прорачун струје I_1 и I_3 у случају да се грана са извором E_2 прекине вађењем отпорника R_2 ;
- з) Анализу односа струје I_2 и струје I_3 ако се грана са извором E_1 прекине вађењем отпорника R_1 .

5. ПОТЕНЦИЈАЛНИ ДИЈАГРАМИ

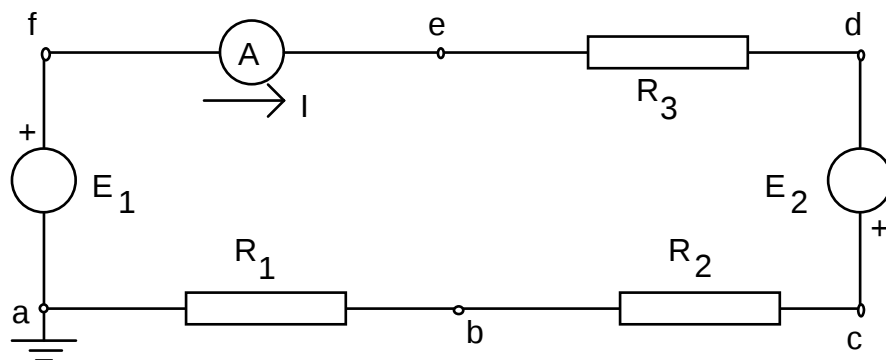
5.1. ЦИЉ ВЕЖБЕ

Циљ ове вежбе је да се на основу резултата мерења провери расподела електричног потенцијала у колу са редно везаним елементима.

5.2. ПРИБОР И ШЕМА МЕРЕЊА

Шема мерења је приказана на слици 5.1. при чему се користе следећи мерни инструменти и опрема:

1. Извор једносмерног напона МА 4551 1 комад
2. Извор једносмерног напона РЛУ 01-30/10 1 комад
3. Слојни отпорник $1\text{ k}\Omega$ као R_1 1 комад
4. Слојни отпорник $4,3\text{ k}\Omega$ као R_2 1 комад
5. Слојни отпорник $10\text{ k}\Omega$ као R_3 1 комад
6. Универзални инструмент ДИГИМЕР 30 2 комада
7. Матадор плоча 1 комад
8. Спојни проводници



Слика 5.1.

5.3. УВОДНО ОБЈАШЊЕЊЕ

Ако графички прикажемо у координатном систему (x , y), почевши од једне тачке кола, промену електричног потенцијала идући дуж свих елемената од којих је састављена спојна шема добијамо *потенцијални дијаграм* датог кола.

Почетна, референтна тачка се бира произвољно и њој приписујемо нулти потенцијал (шематски ову тачку обично приказујемо уземљену). Затим, крећући се од тачке до тачке одређујемо њихове потенцијале и то наносимо на ординату, а на апсциси цртамо положаје мерних тачака.

Потенцијал расте према наредној тачки уколико се између те две тачке налази извор са ЕМС усмереном ка наредној тачки, или ако се између тих тачака налази отпорник кроз који

струја тече у супротном смеру (од наредне према почетној тачки). У супротном потенцијал опада.

Пре доласка на вежбу потребно је, на описани начин, израчунати потенцијале свих тачака у колу, те струју и напоне на деловима кола ($E_1 = 10 \text{ V}$, $E_2 = 12 \text{ V}$).

5.4. ПОСТУПАК ИЗВОЂЕЊА ВЕЖБЕ

Повезати елементе струјног кола према шеми на слици 5.1. Проверити исправност споја и подешеност инструмената. Након контроле од стране наставника или асистента укључити оба извора и подесити их на вредност $E_1 = 10 \text{ V}$, $E_2 = 12 \text{ V}$. Измерити струју помоћу амперметра те падове напона на отпорницима R_1 , R_2 и R_3 . Тачку "а" узети за референтну и измерити потенцијал (напон) свих осталих тачака у односу на тачку "а". Све резултате унети у табелу 5.1.

Табела 5.1.

Величине	I [mA]	U ₁ [V]	U ₂ [V]	U ₃ [V]	U _{ba} [V]	U _{ca} [V]	U _{da} [V]	U _{ea} [V]	U _{fa} [V]
Израч.									
Измер.									

5.5. САДРЖАЈ ИЗВЕШТАЈА

Извештај о овој вежби треба да садржи следеће :

- Циљ вежбе, шему спајања.
- Прорачун потенцијала свих тачака у колу те струје и напона у појединим деловима кола.
- Табелу 5.1. са израчунатим и измереним вредностима.
- Потенцијални дијаграм према израчунатим и измереним вредностима у размери: растојање између тачака по 2 cm (апсциса), 1 V = 1 cm (ордината).
- Поређење прорачунских и мерни резултата и закључак.
- Израчунате напоне U_{bd} и U_{ce} .
- Одредити колики ће бити потенцијал тачке "б" уколико се коло прекине вађењем отпорника R_1 .
- Одредити потенцијал тачке "б" и "ц" уколико се отпорник R_2 кратко споји.
- Нацртати исти потенцијални дијаграм, али тако да се размера по ординати задржи као у тачки 5. 5.д, а размеру по апсциси узети сразмерно отпорностима између појединих тачака ($1k\Omega = 1cm$). Унутрашње отпорности извора и амперметара и отпорности проводника занемарити.

6. ТРАНСФИГУРАЦИЈА ТРОУГАО - ЗВЕЗДА И ОБРАТНО

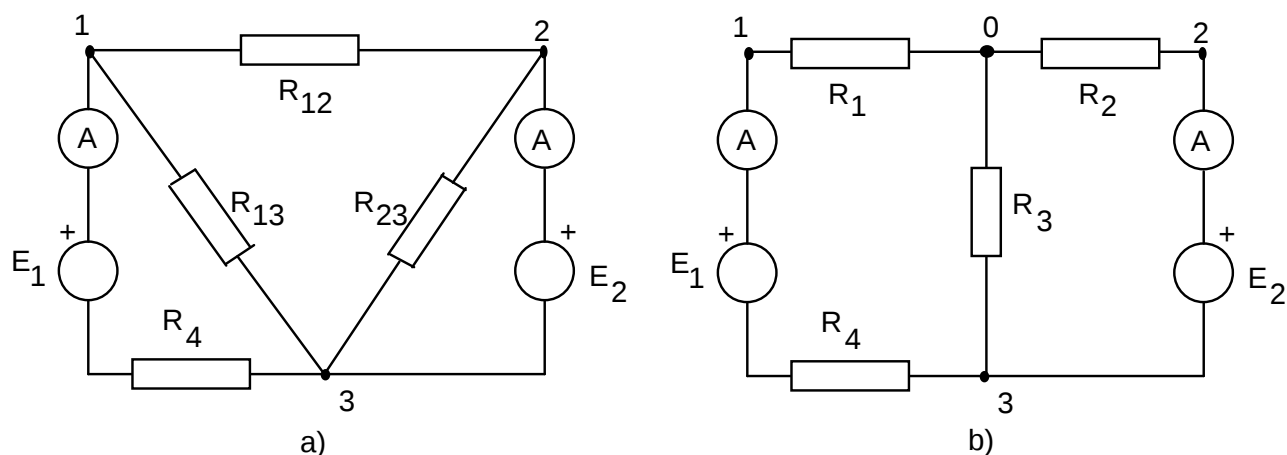
6.1. ЦИЉ ВЕЖБЕ

Циљ ове вежбе је да се на основу резултата мерења провери метода трансфигурације троугао - звезда и обратно у делу електричног кола.

6.2. ПРИБОР И ШЕМА МЕРЕЊА

Шеме спајања су дате на слици 6.1. и 6.2. при чему се користе следећи мерни инструменти и опрема :

1. Извор једносмерног напона МА 4551 1 комад
2. Извор једносмерног напона РЛУ 01-30/10 1 комад
3. Слојни отпорник $1\text{ k}\Omega$ као R_{12} 1 комад
4. Слојни отпорник $4,3\text{ k}\Omega$ као R_{23} 1 комад
5. Слојни отпорник $10\text{ k}\Omega$ као R_{13} 1 комад
6. Слојни отпорник $4,3\text{ k}\Omega$ као R_4 1 комад
7. Дигитални инструмент ДИГИМЕР 30 (као A_1, A_2) 2 комада
8. Универзални инструмент АВОМЕТАР(као волтметар) 1 комад
9. Слојни отпорник 680Ω као R_1 1 комад
10. Слојни отпорник 270Ω као R_2 1 комад
11. Слојни отпорник 2700Ω као R_3 1 комад
12. Матадор плоча 1 комад
13. Спојни проводници



Слика 6.1.

6.3. УВОДНО ОБЈАШЊЕЊЕ

У сложеним електричним колима наилазимо на случајеве веза електричних отпорника који се не могу решити једноставном применом правила за израчунавање еквивалентне отпорности код серијске и паралелне везе односно који нису комбинација редне и паралелне везе. Типични примери таквих веза су отпорници спојени у троугао или у звезду. Прорачун можемо олакшати ако у том делу мреже извршимо погодну трансфигурацију оваквих веза

отпорника. При томе мора бити задовољен услов да се струје и напони у свим осталим деловима кола не мењају, а то је могуће једино уколико потенцијали свих чворова остану исти, па тиме и напони између чворова 1 - 2, 2 - 3, и 1- 3 (слика 6.1а и б.).

Полазећи од тих услова добијају се следеће релације за отпорности отпорника еквивалентне звезде ако су познати отпорности отпорника везе у троугао

$$R_1 = \frac{R_{12} \cdot R_{13}}{R_{12} + R_{13} + R_{23}} \quad R_2 = \frac{R_{12} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{13} + R_{23}} \quad R_3 = \frac{R_{13} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{13} + R_{23}}$$

односно релације за отпорности отпорника еквивалентног троугла ако су познате отпорности отпорника везе у звезду

$$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3} \quad R_{13} = R_1 + R_3 + \frac{R_1 R_3}{R_2} \quad R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

Пре доласка на вежбу потребно је на основу горњих релација израчунати тачне вредности отпорности отпорника R_1 , R_2 и R_3 којима можемо, након трансфигурације троугла у звезду, заменити отпорнике $R_{12} = 1 \text{ k}\Omega$, $R_{23} = 4 \text{ k}\Omega$, $R_{13} = 10 \text{ k}\Omega$.

6.4. ПОСТУПАК ИЗВОЂЕЊА ВЕЖБЕ

Повезати елементе струјног кола према шеми на слици 6.1а. Проверити исправност споја и подешеност инструмената. Након контроле од стране наставника или асистента укључити оба извора и подесити их на вредности $E_1 = 20\text{V}$, $E_2 = 10\text{V}$. Измерити струје I_1 и I_2 помоћу амперметара A_1 и A_2 . Волтметром измерити напоне U_{1-2} , U_{1-3} , U_{2-3} . Све резултате уписати у табелу 6.1.

Искључити затим оба извора, одспојити отпорнике R_{12} , R_{13} и R_{23} те их заменити отпорницима R_1 , R_2 , R_3 које треба спојити према шеми на слици 6.1б. Поново укључити изворе не мењајући излазни напон. Измерити струје I_1 и I_2 , те напоне U_{1-2} , U_{1-3} , и U_{2-3} . Све резултате унети у табелу 6.1.

$E_1=20 \text{ V}$, $E_2=10 \text{ V}$

Табела 6.1.

Веза	I_1 [mA]	I_2 [mA]	U_{1-2} [V]	U_{1-3} [V]	U_{2-3} [V]
Троугао					
Звезда					

6.5. САДРЖАЈ ИЗВЕШТАЈА

Извештај о овој вежби трба да садржи следеће:

- Циљ вежбе и шему спајања.
- Прорачун отпорности отпорника R_1 , R_2 и R_3 потребних за трансфигурацију.
- Табелу 6.1. са резултатима мерења.
- Упоредити резултате мерења за оба случаја и написати закључак.
- Применом метода контурних струја и напона чворова за коло према слици 6.1б. израчунати све струје у колу и падове напона на отпорницима R_1 , R_2 и R_3 . Упоредити ове две методе по обиму прорачуна.
- На основу резултата добијених прорачуном одредити напоне U_{1-2} , U_{1-3} , U_{2-3} те их упоредити са измереним вредностима и написати закључак.

7. ПРИНЦИП СУПЕРПОЗИЦИЈЕ И ХОМОГЕНОСТИ

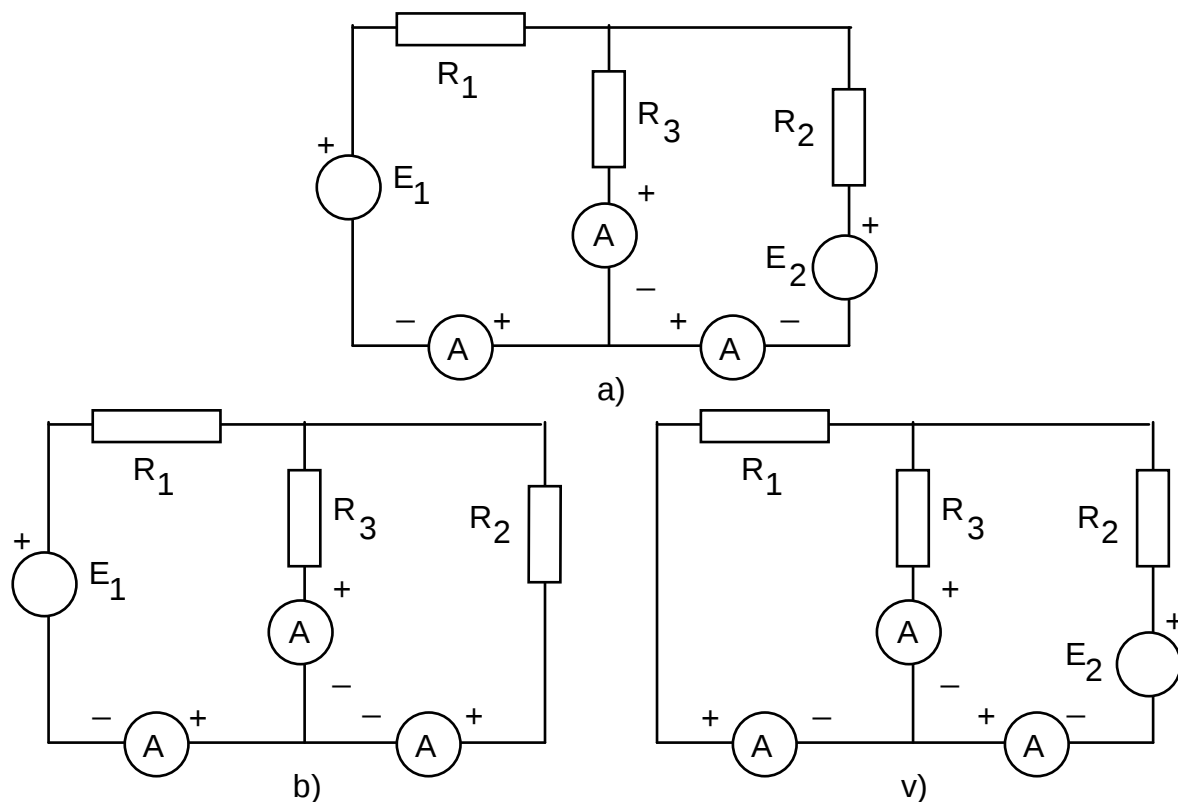
7.1. ЦИЉ ВЕЖБЕ

Циљ ове вежбе је да се на основу резултата мерења провери метода суперпозиције за одређивање струја у гранама неког сложеног електричног кола, као и да се провери особина хомогености.

7.2. ПРИБОР И ШЕМЕ МЕРЕЊА

Шеме спајања су дате на сликама 7.1, 7.2 и 7.3 при чему се користе следећи мерни инструменти и опрема:

1. Извор једносмерног напона РЛУ 01-30/10. 1 комад
2. Извор једносмерног напона МА 4551 1 комад
3. Слојни отпорник $10\text{ k}\Omega$ као R_1 1 комад
4. Слојни отпорник $4.3\text{ k}\Omega$ као R_2 1 комад
5. Слојни отпорник $1\text{ k}\Omega$ као R_3 1 комад
6. Универзални мерни инструмент ДИГИМЕР 30 2 комада
7. Универзални мерни инструмент АВОМЕТАР 1 комад
8. Матадор плоча
9. Спојни проводници



Слика 7.1.

7.3. УВОДНО ОБЈАШЊЕЊЕ

Принципи суперпозиције и хомогености важе за линеарна електрична кола.

7.3.1. Принцип суперпозиције

Принцип суперпозиције се заснива на томе што свака електромоторна сила (емс) у линеарном електричном колу ствара струју независно од других емс. Принцип суперпозиције гласи: укупна величина струје у некој грани кола представља алгебарски збир струја које су створиле поједине емс у колу, при чему се наравно, узимају у обзир и смерови појединих струја.

Принцип (теорема) суперпозиције се може лако доказати на основу метода контурних струја. Контурне струје се израчунавају према општем изразу:

$$I_{1k} = E_{11} \frac{D_{1k}}{D} + E_{22} \frac{D_{2k}}{D} + \dots + E_{nn} \frac{D_{nk}}{D}$$

Пошто су $E_{11}, E_{22}, \dots, E_{nn}$ алгебарски зборови појединих емс у колу, и пошто се струје грана рачунају као зборови или разлике појединих струја следи да се струје грана увек могу изразити у облику:

$$I_{gk} = a_{k1}E_1 + a_{k2}E_2 + \dots + a_{km}E_m$$

где су a_{ki} константе које зависе само од отпорности грана мреже. Према томе, постављајући емс свих израза на нулу (искључујући изворе из електричног кола) осим једног, добићемо компоненту струје коју даје тај један извор, и поступак понављамо за све изворе у колу.

Принцип суперпозиције се може применити само за прорачун оних величина које су међусобно линеарно зависне (на пример за прорачун струја и напона у мрежама са омским отпорницима).

7.3.2. Принцип хомогености

Једна од интерпретација принципа (особине) хомогености за линеарна електрична кола је: ако се под дејством једине емс, у некој грани успостави струја I , при дејству мултиплициране емс aE у посматраној грани ће се успоставити струја aI , где је a мултипликатор.

Пре доласка на вежбу потребно је применом метода суперпозиције прорачунати вредности струја у појединим гранама и одредити њихове смерове ($E = 24V$, $E_2 = 12V$).

7.4. ПОСТУПАК ИЗВОЂЕЊА ВЕЖБЕ

а) Провера принципа суперпозиције

Повезати елементе струјног кола према шеми на слици 7.1а. Проверити исправност споја и подешеност инструмената. Након контроле од стране наставника или асистента укључити оба извора и подесити их на вредности $E_1 = 24V$, $E_2 = 12V$. Измерити струје I_1 , I_2 и

I_3 и резултате унети у табелу. Одспојити извор E_2 , а тачке кола у којима је био спојен кратко спојити (према шеми на слици 7.1б) и измерити струје I'_1 , I'_2 и I'_3 које даје извор E_1 .

Резултате унети у табелу 7.1. Затим одспојити извор E_1 , а тачке кола у којима је био спојен кратко спојити, те укључити извор E_2 , у коло (према шеми на сл.7.1в). Измерити струје I''_1 , I''_2 и I''_3 које даје извор E_2 и резултате унети у такође у табелу 7.1.

Табела 7.1.

$E_1 = 24 \text{ V}$, $E_2 = 12 \text{ V}$

Струја [mA]	I_1	I_2	I_3	I'_1	I'_2	I'_3	I''_1	I''_2	I''_3
Израчун. вредн.									
Измер. вредн.									

б) Провера принципа хомогености

Ради провере принципа хомогености оставити у електричном колу само један генератор на пример $E_2 = 12 \text{ V}$. Изабрати једну грану, на пример са R_2 и проверити како се мења струја те гране када се мења електромоторна сила E_2 . Резултате унети у табелу 7.2.

Табела 7.2.

$E_2 = 12 \text{ V}$

a	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5
$aE_2 \text{ [V]}$						
$I \text{ [mA]}$						

Да ли је особина хомогености задовољена?

7.4. САДРЖАЈ ИЗВЕШТАЈА

Извештај о овој вежби треба да садржи следеће :

- Циљ вежбе, шему спајања.
- Прорачун струја грана методом суперпозиције.
- Табелу 7.1. и 7.2. са резултатима мерења.
- Поређење резултата мерења са прорачунским вредностима и закључак.
- Одредити величину електромоторне силе E_2 извора обрнутог поларитета у односу на слици 7.1. који је потребно укључити у коло да би струја кроз отпорник R_3 била равна нули.
- Прорачун биланса снага у колу.
- Образложење да ли је могућа примена принципа суперпозиције за израчунавање биланса у колу.

8. ТЕВЕНЕНОВА ТЕОРЕМА

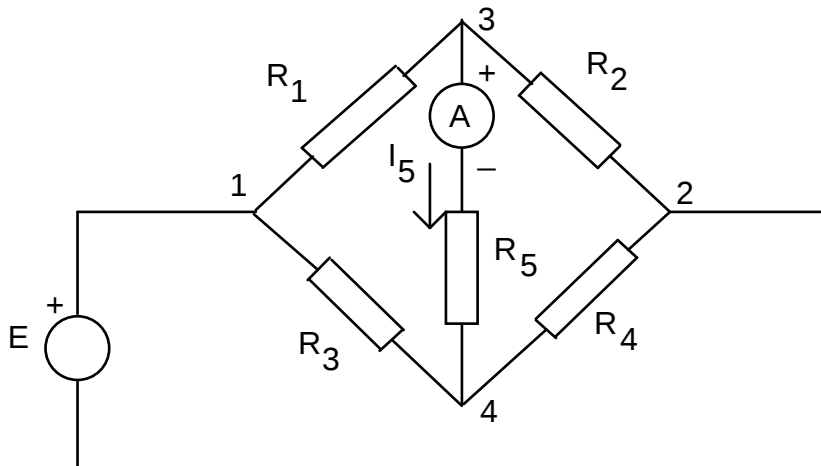
8.1. ЦИЉ ВЕЖБЕ

Циљ вежбе је експериментално проверити Тевененову теорему и одредити струје у грани кола применом Тевененове теореме.

8.2. ПРИБОР И ШЕМА МЕРЕЊА

Шема мерења је приказана на слици 8.1. Приликом реализације вежбе користе се следећи инструменти и опрема:

1. Извор једносмерног напона РЛУ 01-30/10 1 комад
2. Дигитални инструмент ДИГИМЕР 30 као амперметар, волтметар или омметар 1 комад
3. Отпорник $4,3\text{ k}\Omega$ као R_1 и R_3 1 комад
4. Отпорник $10\text{ k}\Omega$ као R_2 1 комад
5. Отпорник $2,2\text{ k}\Omega$ као R_4 1 комад
6. Отпорник $0,750\text{ k}\Omega$ као R_5 1 комад
7. Отпорна декада 1 комад
8. Матадор плоча 1 комад
9. Спојни проводници



Слика 8.1.

8.3. УВОДНО ОБЈАШЊЕЊЕ

У анализи електричних кола чест је случај да се тражи прорачун струје у само једној грани електричног кола. Тада је погодно користити Тевененову теорему.

Тевененова теорема омогућава да се читаво електрично коло између две тачке (у односу на посматрану грану) замени еквивалентним реалним напонским генератором, који се назива Тевененов генератор. Електромоторна сила тог Тевененовог генератора E_T једнака је напону празног хода између посматраних тачака електричног кола (када се посматрана грана

уклони), а унутрашња отпорност истог тог (Тевененовог) генератора R_T једнака је еквивалентној отпорности кола између посматраних тачака када се уклоне генератори (крајеви напонских генератора се кратко споје, а струјних прекину).

Када се посматрана грана прикључи у коло (успоставља се ново стационарно стање у колу), сматра се да се струја у њој успоставља под дејством напонског (Тевененовог) генератора којим је еквивалентиран (заменењен) преостали део електричног кола.

Пре доласка на вежбу, треба прорачунати параметре Тевененовог генератора E_T и R_T за електрично коло на слици 8.1., за дате вредности отпорности у тачки 8.2., и електромоторну силу извора $E = 24 \text{ V}$, у односу на тачке 3 и 4, а затим и струју кроз отпорник отпорности R_5 , тј. струју $I_{34} = I_5$.

8.4. ПОСТУПАК ИЗВОЂЕЊА ВЕЖБЕ

Повезати инструменте и прибор у електрично коло према слици 8.1. Када наставник или асистент прегледа исправност спојене шеме и одобри укључивање, укључити извор једносмерног напона, подесити $E = 24 \text{ V}$ и очитати вредност струје кроз пријемник R_5 , а затим одспојити амперметар (уклонити грану између тачака 3 и 4), подесити дигитални инструмент да ради као волтметар и измерити напон између тачака 3 и 4, тј. $U_{340} = E_T$.

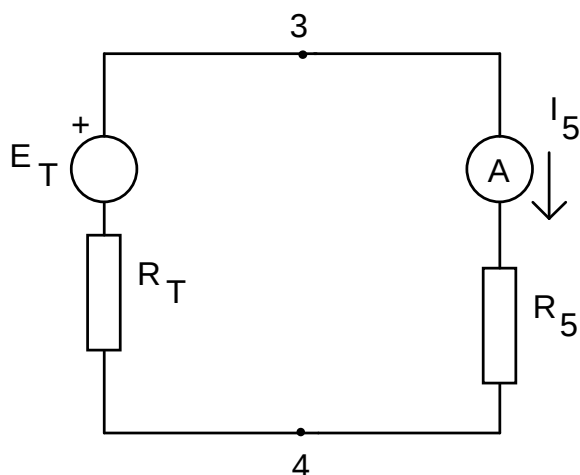
Да би се добио други елемент Тевененовог генератора R_T тј. његова унутрашња отпорност, потребно је измерити еквивалентну отпорност између тачака 3 и 4, тј. $R_{340} = R_T$ (када је грана између тачака 3 и 4 уклоњена, и генератор из мреже уклоњен). То се може извести на следеће начине:

1 - одспоји се извор електромоторне силе E , тачке 1 и 2 кратко се споје, а између тачака 3 и 4 споји се омметар (или РЛЦ мост) и измери еквивалентна отпорност; или

2 - одспоји се извор електромоторне силе E , тачке 1 и 2 кратко се споје, а између тачака 3 и 4 веже се извор једносмерног напона и редно са њим амперметар; одабере се погодна вредност електромоторне силе E и измери струја, а затим и напон између тачака 3 и 4, на основу чега се израчуна, применом Омовог закона, еквивалентна отпорност R_{340} (одређивање отпорности U - I методом, тј. индиректном методом мерења).

Када се то све уради, може се остали део електричног кола, у односу на грану између тачака 3 и 4, заменити тако добијеним Тевененовим генератором: прво се уклоне сви елементи са макете, а затим се, у односу на тачке 3 и 4, са једне стране веже извор подешљиве електромоторне силе E и редно њему променљиви или стални отпорник (отпорна декада) подешен на вредност R_T , а са друге стране амперметар и отпорник R_5 који су сачињавали грану између тачака 3 и 4, према слици 8.2. Електромоторна сила извора се подеси на вредност E_T , а отпорност отпорника на R_T , а затим измери струја кроз отпорник R_5 . Резултате треба средити према табели 8.1.

Проверити слагање са вредношћу струје кроз исту грану, измерену у колу на слици 8.1.



Слика 8.2.

Табела 8.1.

E = 24 V	И з м е р е н о		
	Израчунато	Шема на слици. 8.1.	Шема на слици 8.2.
I ₅ [mA]			
E _T [V]			
R _T [KΩ]			

8.5. САДРЖАЈ ИЗВЕШТАЈА

Извештај о реализованој вежби треба да садржи:

- Циљ вежбе, електричну шему и кратак опис поступка мерења;
- Прорачун струје кроз грану електричног кола са отпорником R_5 , као на слици 8.1., применом Тевененове теореме;
- Табелу 8.1. са израчунатим и измереним вредностима;
- Коментар како величина унутрашње отпорности волтметра утиче на тачност мерења електромоторне силе Тевененовог генератора и који би био идеалан случај;
- Формулацију Нортонове теореме, односно навести разлику у односу на Тевененову теорему;
- Објашњење у којим случајевима не постоји еквиваленција између Тевененовог и Нортоновог генератора.
- Који би био заједнички назив за Тевененову и Нортонову теорему?.

9. ТЕОРЕМА УЗАЈАМНОСТИ

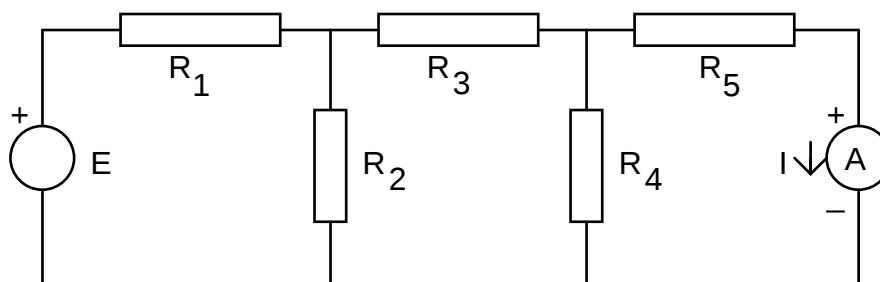
9.1. ЦИЉ ВЕЖБЕ

Експериментално проверити теорему узајамности на примеру једног, електричног кола временски константне струје.

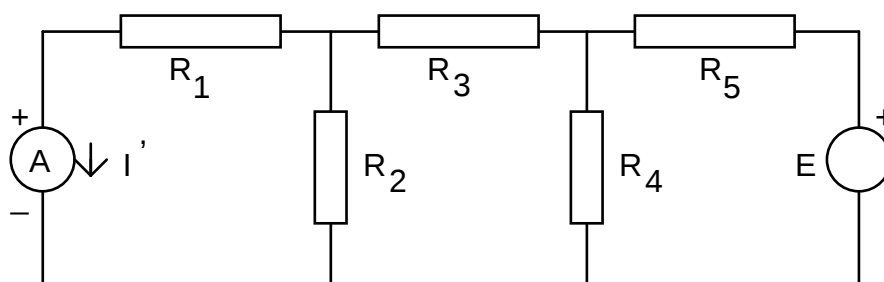
9.2. ПРИБОР И ШЕМА МЕРЕЊА

Шема спајања приказана је на слици 9.1., а користе се следећи инструменти и опрема:

1. Извор једносмерног напона РЛУ 01-30/10 1 комад
2. Дигитални инструмент ДИГИМЕР 30 1 комад
3. Отпорници
 - $R_1 = R_3 = 1\text{ k}\Omega$ 2 комада
 - $R_2 = R_5 = 4,3\text{ k}\Omega$ 2 комада
 - $R_4 = 10\text{ k}\Omega$ 1 комад
4. Матадор плоча
5. Проводници за спајање



Слика 9.1.



Слика 9.2.

9.3. УВОДНО ОБЈАШЊЕЊЕ

Теорема узајамности (реципроцитета) изражава особину реципрочности линеарних електричних кола. По теорему узајамности ако се узме да у електричном колу делује само један генератор електромоторне силе E , а као одзив на ту побуду има се у некој грани струја

I , онда ако се генератор пребаци у ту грану, у грани где је пре био генератор успоставиће се струја јачине I . При овоме треба имати у виду да референтни смерови дуж грана према којима се узимају предзнаци (алгебарски интерпретирају) електромоторна сила и струје остају орјентисани на исту страну за оба случаја.

Пре доласка на вежбу прорачунати вредност струје кроз грану са пријемником R_5 за $E=24\text{ V}$ и дате вредности и одредити њен стварни смер. Затим израчунати струју I' кроз грану са пријемником отпорности R_1 , ако се генератор са слике 9.1. пребаци у грану са пријемником отпорности R_5 као на слици 9.2.

По теореме узајамности треба да је

$$I = I'$$

9.4. ПОСТУПАК ИЗВОЂЕЊА ВЕЖБЕ

Спојити шему према слици 9.1. користећи матадор плочу, водећи рачуна да се позитивни крај генератора веже према шеми, а позитивни крај амперметра према унапред одређеном смеру струје кроз пријемник R_5 (амперметар се третира као пријемник мале отпорности) и тиме обезбеди правилно скретање амперметра. Када наставник или асистент одобри укључивање, укључити извор и подесити $E=24\text{ V}$, а затим очитати струју на амперметру укљученом у грану са пријемником R_5 . Након тога искључити генератор, заменити места генератора и амперметра водећи рачуна да референтни смерови остану исти, укључити генератор, подесити $E=24\text{ V}$, и очитати струју на амперметру који се сада налази у грани са пријемником R_1 .

Уверити се да су показивања амперметра у оба случаја иста. Тиме је теорема узајамности проверена. Резултате средити у табелу 9.1.

Табела 9.1

$E=24\text{ V}$	$I\text{ [mA]}$	$I'\text{ [mA]}$
Израчунато		
Измерено		

9.5. САДРЖАЈ ИЗВЕШТАЈА

Извештај о овој вежби треба да садржи:

- Циљ вежбе, електричну шему, кратак опис поступка извођења вежбе.
- Прорачун струја за услове у одељку 9.3.
- Резултате сређене у табели 9.1.
- Коментар слагања мерних и прорачунских вредности.
- Доказати теорему узајамности полазећи од израза за струју у некој грани мреже изражену преко контурне струје.
- Формулацију теореме узајамности за случај да се у колу налази струјни уместо напонског извора.

10. ЕЛЕКТРОМАГНЕТСКА ИНДУКЦИЈА

10.1. ЦИЉ ВЕЖБЕ

Циљ вежбе је експериментално демонстрирати статичку и динамичку електромагнетску индукцију.

10.2. УВОДНО ОБЈАШЊЕЊЕ

Једна од најважнијих особина временски променљивих поља јесте појава такозване електромагнетске индукције. Без електромагнетске индукције не би био могућ рад многих уређаја који су од основног значаја и за електротехнику и за технику уопште.

Електромагнетском индукцијом назива се појава настајања индуковане електромоторне силе у проводној контури, а открио ју је 1831. године британски физичар Мајкл Фарадеј.

Фарадејев закон електромагнетске индукције изражава се на следећи начин:

$$e = - \frac{d\Phi_{\text{kroz.konturu.za.dt}}}{dt} \quad (10.1.)$$

Из израза 10.1. се види да индукована електромоторна сила у проводној контури зависи од промене флуksа, односно начина промене магнетског поља у тачкама контуре, али не и разлога због кога се флуks мења.

Када је електромагнетска индукција у некој контури последица релативног кретања извора константног магнетског поља и контуре, каже се да је реч о *динамичкој* електромагнетској индукцији. Међутим, када је електромагнетска индукција у контури последица промена струје у другој контури, онда је реч о *статичкој* електромагнетској индукцији.

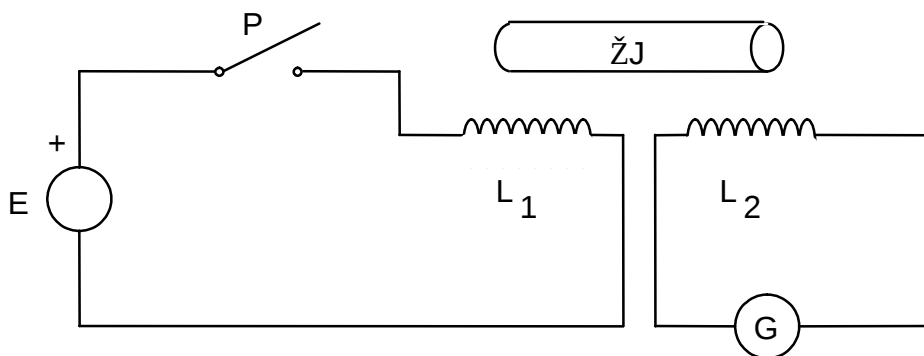
У електричним уређајима до појаве индуковане електромоторне силе често долази и због једног и због другог разлога истовремено, па се може назвати комбинованом електромагнетском индукцијом.

10.3. СТАТИЧКА ЕЛЕКТРОМАГНЕТСКА ИНДУКЦИЈА

10.3.1. ПРИБОР И ШЕМА СПАЈАЊА

Шема спајања је приказана на слици 10.1. Приликом реализације вежбе користе се следећи инструменти и опрема:

1. Извор једносмерног напона РЛУ 01-30/10 1 комад
2. Завојница без језгра 1200, 2400 3600 намотаја као L_1 и L_2 1 комад
3. Железно језгро ваљкастог облика (ЖЈ) 1 комад
4. Прекидач (П) 1 комад
5. Галванометар М - 82 (0,15 ÷ 60) mA (G) 1 комад



Слика 10.1.

10.3.2. ПОСТУПАК ИЗВОЂЕЊА

Спојити шему према слици 10.1. Прекидач држати у отвореном положају. Укључити извор напајања и подесити напон извора на неколико волти. Завојнице (намотаје, калемове, пригушнице) поставити на сто, једну на другу, тако да се шупљине поклапају. Затворити прекидач П, чиме ће се изазвати протицање струје кроз завојницу L_1 , која ствара магнетски флуks у тој завојници. С обзиром на то да су обе завојнице близу, део тог флуksа се затвара и кроз завојке завојнице L_2 . Уочити да у тренутку укључивања прекидача (флуks расте), када настаје промена струје у непокретној завојници L_1 , долази до скретања казаљке галванометра (обратити пажњу и на смер скретања казаљке), што значи да је у непокретној завојници L_2 (на њу није прикључен никакав извор електромоторне силе) дошло до појаве индуковане електромоторне силе.

Отворити прекидач П (струја у завојници L_1 опада, те и флуks опада) и уочити да у том тренутку казаљка галванометра скреће, у супротну страну, за разлику од претходног случаја.

Уочити, такође, да се казаљка галванометра не помера када је прекидач стално укључен (кроз завојницу L_1 тече струја која се не мења), што значи да у завојници L_2 нема индуковања електромоторне силе. Наиме до индуковања електромоторне силе у завојници L_2 не долази због тога што нема *промене* флуksа магнетског поља кроз завојницу (струја кроз завојницу L_1 се не мења, а завојнице су непокретне).

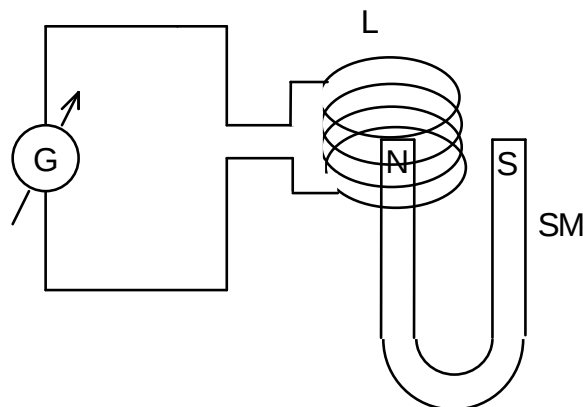
Када се унесе железно језгро у отвор једне завојнице (или обе завојнице) може се уочити да при укључивању и искључивању прекидача казаљка галванометра јаче скреће, што значи да се уношењем железног језгра узрокује јаче изражена електромагнетска индукција.

10.4. ДИНАМИЧКА ЕЛЕКТРОМАГНЕТСКА ИНДУКЦИЈА

10.4.1. ПРИБОР И ШЕМА СПАЈАЊА

Шема спајања је приказана на слици 10.2. Приликом реализације вежбе користе се следећи инструменти и опрема:

1. Стални магнет (потковичасти на пример)(СМ) 1 комад
2. Завојница без језгра (Ј) 1 комад
3. Галванометар М - 82 (0,15 ÷ 60) mA (G) 1 комад



Слика 10.2.

10.4.2. ПОСТУПАК ИЗВОЂЕЊА ВЕЖБЕ

Спојити шему према слици 10.2. Померати стални магнет (SM) у односу на завојницу (L) и уочити да при томе на галванометру долази до померања казаљке у једну, односно другу страну, зависно од смера померања магнета, што значи да у завојници, због промене флукса магнетског поља у тачкама завојнице, долази до појаве индуковане електромоторне силе, настале релативним кретањем сталног магнета у односу на завојницу.

Ако се магнет помера различитом брзином, може се уочити да индукована електромоторна сила зависи од брзине кретања магнета, односно брзине промене флукса магнетског поља кроз завојке завојнице.

Када магнет и завојница мирују једно у односу на друго, може се уочити да нема индуковане електромоторне силе у завојцима завојнице, јер нема промене магнетског флукса кроз завојницу, односно нема релативног кретања извора сталног магнетског поља у односу на завојницу.

Пре доласка на вежбу проучити, на основу литературе, појаву електромагнетске индукције и поступак извођења вежбе, односно експерименталног доказивања електромагнетске индукције.

10.5. САДРЖАЈ ИЗВЕШТАЈА

Извештај о реализованој вежби треба да садржи:

- а) Циљ вежбе, скицу и кратак опис поступка извођења експеримента;
- б) Главна запажања и закључак о спроведеном експерименту;
- ц) Објашњење утицаја које би имала промена броја завојака (смањење или повећање) на величину индуковане електромоторне силе у завојници;
- д) Дефиницију закона којим се објашњава промена скретања казаљке (смера струје) при приближавању и удаљавању сталног магнета у односу на отвор завојнице, назив закона и у чему се он огледа у изразу за Фарадејев закон електромагнетске индукције (израз 10.1.);
- е) Неколико практичних примера (уређаји, апарати) код којих је искоришћена појава статичке односно динамичке електромагнетске индукције.

11. МЕРЕЊЕ ИНДУКТИВНОСТИ

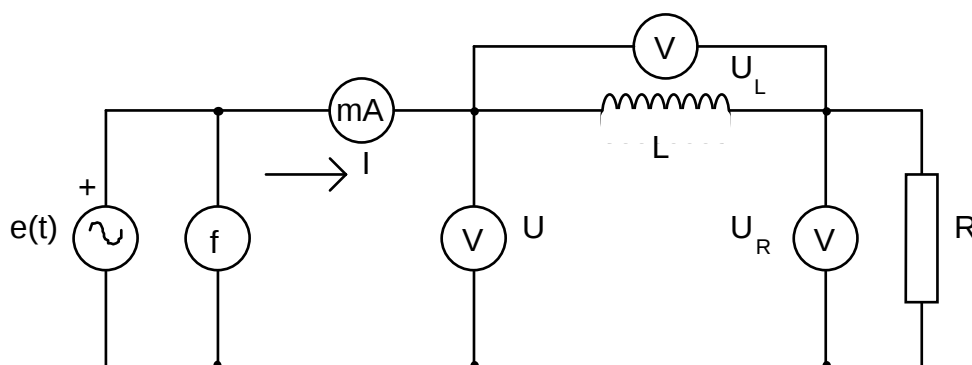
11.1. ЦИЉ ВЕЖБЕ

Циљ ове вежбе је U-I методом одредити индуктивност калема са различитим бројем завојака при различитим вредностима учестаности и уочити зависност индуктивности од учестаности.

11.2. ПРИБОР И ШЕМА МЕРЕЊА

Шема мерења је приказана на слици 11.1. при чему су употребљени следећи инструменти и опрема:

1. Генератор функција ФУНКЦИОН ГЕНЕРАТОР ХП 3212 А..... 1 комад
2. Универзални инструмент АВОМЕТАР као волтметар (U_i , U_R)..... 2 комада
3. Диг. INSTR. ДИГИМЕР 30 као милиамперметар (mA) и волтметар(U_L). 2 комада
4. Дигитални бројач ХП 5314 А као фреквенцметар. 1 комад
5. Завојница са прикључцима 1200, 12,5 Ω ; 2400, 32,5 Ω и 1200 + 2400 намотаја 45 Ω тј. 0,12 Н; 0,5 Х; 1 Н, или индуктивна декада..... 1 комад
6. Отпорник 1 k Ω 1 комад
7. Матадор плоча



Слика 12.1.

11.3. УВОДНО ОБЈАШЊЕЊЕ

Ако имамо две блиске проводне контуре, од којих у једној постоји временски промењива струја онда у другој долази до појаве индуковане електромоторне силе (емс) зато што се она налази у простору са временски променљивим електричним пољем (које ствара прва контура). Очигледно је да се и прва контура налази у том временски променљивом електричном пољу па ће и у њој доћи до електромагнетске индукције. То значи да до електромагнетске индукције долази и у усамљеној контури са временски променљивом струјом. Ова појава се назива самоиндукција, а емс индукована у контури емс самоиндукције. Коефицијент сразмерности између флукса кроз контуру и струје кроз њу, односно емс самоиндукције и брзине промене струје кроз контуру назива се сопствена индуктивност, или самоиндуктивност, или често индуктивност и означава се са L :

$$\Phi(t) = L \cdot i(t) \quad (a)$$

$$e(t) = -L \frac{di(t)}{dt} \quad (6)$$

Ови изрази важе за случај линеарне средине, а израз (а) важи за било коју временску промену струје у контури.

Непозната индуктивност се може израчунати и из изрази за импедансу реалног калема у устаљеном простопериодичном режиму:

$$Z = \sqrt{R_L^2 + (\omega \cdot L)^2}$$

односно ако се занемари активна отпорност калема R_L , а импеданса одреди као однос ефективних вредности напона на калему и струје кроз калем, добија се:

$$L = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{U_L}{I} = \frac{1}{2\pi f} \cdot \frac{U_L}{I}$$

Уколико се не занемари отпорност калема R_L , индуктивност се може израчунати релацијом:

$$L = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z^2 - R_L^2}$$

где је

$$Z = \frac{U_L}{I}, \text{ а } R_L = \frac{U_L}{I}$$

где су:

U_L, I - вредности мерене при једносмерној струји,
 R_L - активна (термогена) отпорност калема.

11.4. ПОСТУПАК ИЗВОЂЕЊА ВЕЖБЕ

Повезати инструменте и прибор у електрично коло према слици 11.1., користећи матадор плочу. Завојницу спојити између прикључака означених са „1200,„. На генератору функција одабрати синусни таласни облик. Проверити да ли су инструменти постављени да мере назначене величине.

Када наставник односно асистент прегледа исправност повезивања шеме и одобри укључивање, укључити извор и подесити напон на $U = 4 \text{ V}$, и за фреквенције назначене у табели 11.1. извршити назначена мерења. Затим спојити завојницу између прикључака означених са „2400,„ и поновити поступак. Исто то урадити и са завојницом спојеном између крајњих прикључака. Резултате средити у табеле 11.1., 11.2. и 11.3.

„1200,„ (а - б)

Табела 11.1.

f [Hz]	50	80	100	150	200	300	400	800
U_L [V]								
I [mA]								
L [H]								

„2400,, (б - ц)

Табела 11.2.

f [Hz]	50	80	100	150	200	300	400	800
U_L [V]								
I [mA]								
L [H]								

„1200 + 2400,, (а - ц)

Табела 11.3.

f [Hz]	50	80	100	150	200	300	400	800
U_L [V]								
I [mA]								
L [H]								

11.5. САДРЖАЈ ИЗВЕШТАЈА

Извештај о овој вежби треба да садржи:

- Циљ вежбе, електричну шему и кратак опис поступка мерења.
- Резултате мерења и прорачун индуктивности.
- Графички приказ зависности $L = L(f)$ за сва три случаја.
- Објаснити на које би начине мерењем одредили термогену отпорност калема R_L и израчунати индуктивност за случај $R_L = 45\Omega$ (завојница спојена између прикључака „1200 + 2400,,).
- Колике су самоиндуктивности бифиларног завојка и упреденог вода. Зашто? Објаснити.
- Објаснити појам „чистог,, индуктивног калема и реалног индуктивног калема. Може ли се направити „чист,, калем?
- На основу измерених вредности напона U и U_p за учестаност $f = 800$ Hz, израчунати напон U_L и струју I , а затим израчунати индуктивитет L . Ове резултате упоредити са измереним вредностима струје и напона на завојници и коментарисати исте.

12. РЕДНО РЛЦ КОЛО

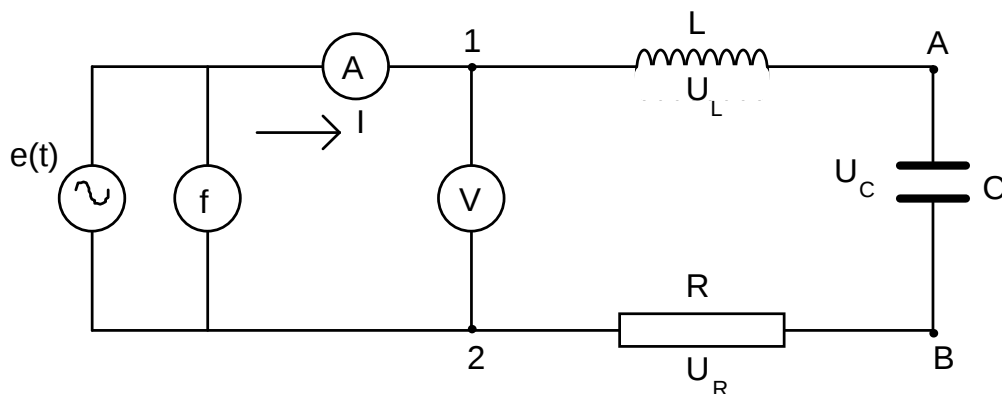
12.1. ЦИЉ ВЕЖБЕ

Циљ вежбе је, прво, провера релације између напона редно везаних елемената и, друго, испитивање утицаја величине индуктивности завојнице и капацитивности кондензатора на карактер реактансе редног РЛЦ кола при непромењивој учестаности генератора прикљученог на коло. У ту сврху потребно је измерити и израчунати струју у колу и напоне на појединим елементима редног РЛЦ кола, те нацртати фазорски дијаграм напона.

12.2. ПРИБОР И ШЕМА МЕРЕЊА

Шема мерења је приказана на слици 12.1. Приликом реализације вежбе користе се следећи инструменти и опрема:

1. Генератор функц. ФУНКЦИОН ГЕНЕРАТОР ХП-3312 А или МА 3733 1 комад
2. Универз. инстр. ДИГИМЕР 30 или АВОМЕТАР као амперм. и волтметар 2 комада
3. Дигитални мултиметар ДИГИМЕР 30 1 комад
4. Универзални бројач ХП-5314 А или ХП 5323А као фреквенцметар 1 комад
5. Осцилоскоп ХП 1222 А или Ц1-55 1 комад
6. Отпорна декада УНИСЕП или отпорници као R_1 и R_2 1 комад
7. Кондензаторска декада УНИСЕП или кондензатори као C_1 и C_2 1 комад
8. Завојница (L), без језгра, 0,12 Н, 12,5 Ω , 1200 намотаја (а-б),
0,5 Н, 32 Ω , 2400 намотаја (б-ц), 1 Н, 45 Ω , 3600 намотаја (а-ц) 2 комада
9. Матадор плоча 1 комад
10. Спојни проводници



Слика 12.1.

12.3. УВОДНО ОБЈАШЊЕЊЕ

За тренутну вредност напона на крајевима редне везе елемената (слика 12.1.) важи:

$$u_{12}(t) = u_{1A}(t) + u_{AB}(t) + u_{B2}(t) = u_R(t) + u_L(t) + u_C(t) \quad (12.1.)$$

или у комплексном облику:

$$\bar{U}_{12} = \bar{U}_R + \bar{U}_L + \bar{U}_C \quad (12.2.)$$

Како се $\bar{U}_R$, $\bar{U}_L$ и $\bar{U}_C$ фазно разликују (у геометријској представи то су фазори), модул њиховог збира није једнак збиру модула U_R , U_L и U_C , а то значи да им се ефективне вредности не смеју сабирати. То је последица чињенице да је тренутна вредност синусоидалног напона u једнака збиру тренутних вредности синусоида u_R , u_L и u_C , а које су фазно померене, па је очигледно да амплитуда напона на прикључцима кола није једнака збиру амплитуда појединих синусоида.

Модуло Z и аргумент Φ комплексне импедансе $\bar{Z}$ датог кола (слика 12.1.) дати су изразима:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2},$$

$$\Phi = \arctg \frac{X}{R},$$

где је:

$$X = X_L - X_C = \omega L - \frac{1}{\omega C},$$

па је ефективна вредност струје кроз коло

$$I = \frac{U}{Z},$$

а ефективне вредности напона на појединим елементима кола су:

$$U_R = RI,$$

$$U_L = X_L I,$$

$$U_C = X_C I$$

Нека је напон на прикључцима кола $u(t) = U_m \sin(\omega t + \Theta)$, а струја кроз прикључке кола $i(t) = I_m \sin(\omega t + \Psi)$, онда је фазна разлика напона на прикључцима кола и струје кроз прикључке кола $\Phi = \Theta - \Psi$. Ако се за почетну фазу напона $u(t)$ узме $\Theta = 0^\circ$, онда је фазна разлика напона на прикључцима кола и струје кроз прикључке кола $\Phi = -\Psi$. То се мора имати у виду приликом цртања фазорских дијаграма.

Пре доласка на вежбу треба одредити комплексне вредности напона на појединим елементима кола и представити фазорским дијаграмом једначину (12.2.) уз следеће услове: $U = 5 \text{ V}$, $f = 400 \text{ Hz}$, и следеће комбинације вредности за L , C и R :

$$1) L_1 = 1 \text{ H}, \quad C_1 = 470 \text{ nF}, \quad R_1 = 4,7 \text{ k}\Omega, \text{ и}$$

$$2) L_2 = 0,5 \text{ H}, \quad C_2 = 100 \text{ nF}, \quad R_2 = 1 \text{ k}\Omega.$$

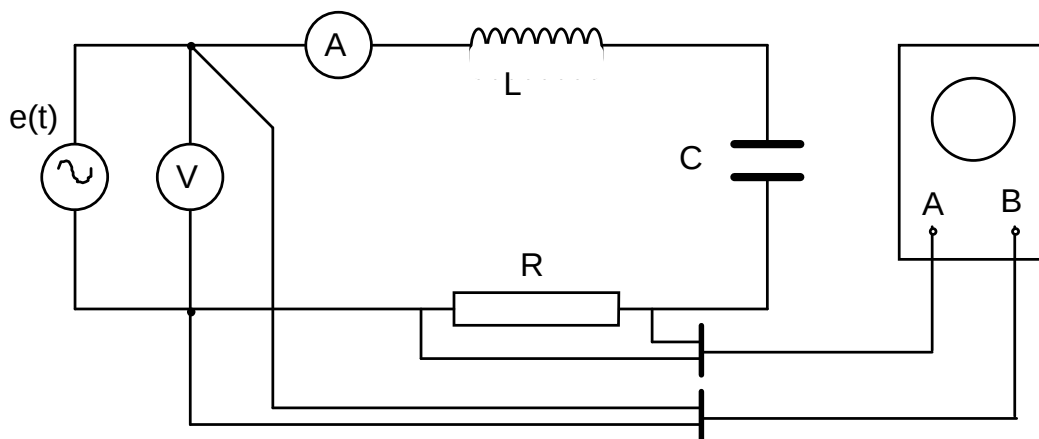
Такође, треба одредити углове фазног помака између напона прикљученог на коло и струје кроз коло за оба случаја.

12.4. ПОСТУПАК ИЗВОЂЕЊА ВЕЖБЕ

Повезати инструменте и прибор у електрично коло према слици 12.1. Проверити да ли су инструменти постављени да мере назначене величине. На завојници одабрати две вредности индуктивности (1 X одговара 3600 завојака - прикључци "а-ц", 0,5 X одговара 2400 завојака - прикључци "б-ц") и комбиновати их са датим вредностима капацитета тако да у једном случају коло буде индуктивног карактера, а у другом - капацитивног карактера. Спојити коло тако да има индуктивни карактер (случај 1). Вредности капацитета и отпорности исправно одабрати преко преклопника на капацитивној и отпорној декади. Када наставник односно асистент прегледа исправност спојене шеме и одобри укључивање,

укључити извор и подесити $U = 5\text{ V}$, фреквенцију $f = 400\text{ Hz}$, а затим прочитати струју у колу, и помоћу дигиталног мултиметра измерити напоне на отпорнику, завојници и кондензатору.

Даљи поступак је следећи: један канал (канал А односно први канал) осцилоскопа спојити тако да се на њега доведе напон извора прикљученог на коло, а на канал Б (други канал) доведе напон са отпорника R (види слику 12.2.). Подесити слику на осцилоскопу и измерити угао фазног помака између напона прикљученог на коло и струје кроз коло (имати у виду да су напон на отпорнику, доведен на други канал осцилоскопа, и струја кроз отпорник, која представља и струју кроз коло, у фази). Такође, одредити и знак угла фазног помака, односно да ли струја кроз коло предњачи или заостаје за напоном на прикључцима кола.



Слика 12.2.

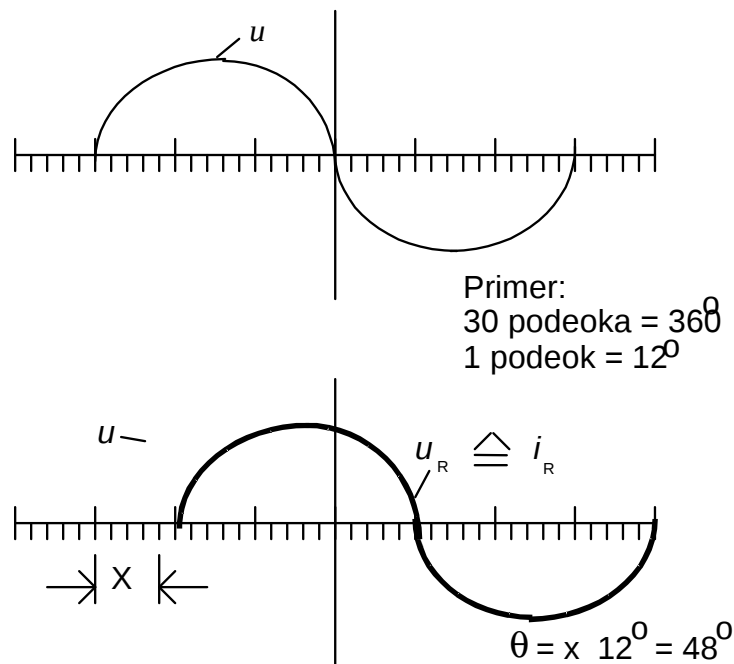
Угао фазног помака се може одредити помоћу осцилоскопа на следећи начин: на први канал осцилоскопа (канал А), помоћу одговарајућег коаксијалног кабла, довести сигнал са генератора, водећи рачуна да црни проводник буде прикључен на масу ("−"), а црвени проводник на врући крај ("+"); затим подесити одговарајућу величину амплитуде сигнала на екрану осцилоскопа одговарајућим преклопником, а број циклуса (синусоидалног) сигнала на екрану осцилоскопа подесити тако да се добије једна пуна промена (периода) дуж x-осе екрана осцилоскопа; умирити слику на екрану осцилоскопа и помоћу мреже на екрану одредити колико степени одговара сваком од малих подељака на хоризонталној оси.

Потом на други канал осцилоскопа (канал Б) прикључити напон са отпорника, имајући у виду да црни проводник треба прикључити на "−", а црвени на "+".

Упоредивањем синусоида може се одредити међусобни фазни став сигнала доведених на први и други канал осцилоскопа. С обзиром на то да је струја кроз отпорник, са кога је доведен напон на други канал осцилоскопа, у фази са напоном, чија је слика на екрану осцилоскопа, то се у ствари може одредити и фазни помак између напона на прикључцима кола и струје кроз прикључке кола, односно кроз коло. Са слике. 12.3. види се да струја касни за напоном за "x" малих подељака, односно за угао који је једнак "x" пута број степени који одговарају једном малом подељку.

Поступак треба поновити за другу комбинацију (R , L и C), односно капацитивни карактер кола (случај 2) и све резултате унети у табелу 12.1.

Оставити у колу елементе као у случају 2. Мењати учестаност генератора и уочити учестаност при којој настаје максимум напона на завојници (случај 3 у табели 12.1.), а затим пронаћи учестаност при којој настаје максимум напона на кондензатору (случај 4 у табели 12.1.). Податке о свим параметрима кола унети у табелу 12.1.



Слика 12.3.

$U = 5 \text{ V}$

Табела 12.1.

	R[kΩ]	L[H]	C[nF]	U[V]	f[Hz]	I[mA]	U _R [V]	U _L [V]	U _C [V]	Φ[°]
1										
2										
3										
4										

Упоредити вредности добијене мерењем са израчунатим вредностима.

12.5. САДРЖАЈ ИЗВЕШТАЈА

Извештај о реализованој вежби треба да садржи:

- Циљ вежбе и електричну шему;
- Прорачун комплексних вредности напона на елементима кола за вредности извора и елемената кола задате у тачки 12.3.;
- Нацртане фазорске дијаграме;
- Табелу 12.1. са израчунатим и измереним вредностима;
- За 1. и 2. случај из тачке 12.4. израчунате вредности за X_L , X_C , X , Z , Φ ;
- Нацртане троуглове отпорности;
- Проверу релација за комплексне напоне редно везаних елемената према једначини 12.2. односно да ли је $\underline{U} = \underline{U}_{12} = \underline{U}_R + \underline{U}_L + \underline{U}_C$ и зашто;
- Коментаре евентуалних одступања резултата мерења и прорачунатих вредности;
- Нацртану (квалитативно) зависност ефективне вредности напона на завојници, кондензатору и отпорнику и струје кроз коло, за случај да се фреквенција извора мења од врло малих вредности (нуле) до врло великих вредности (бесконачно).

13. ПАРАЛЕЛНО РЛЦ КОЛО

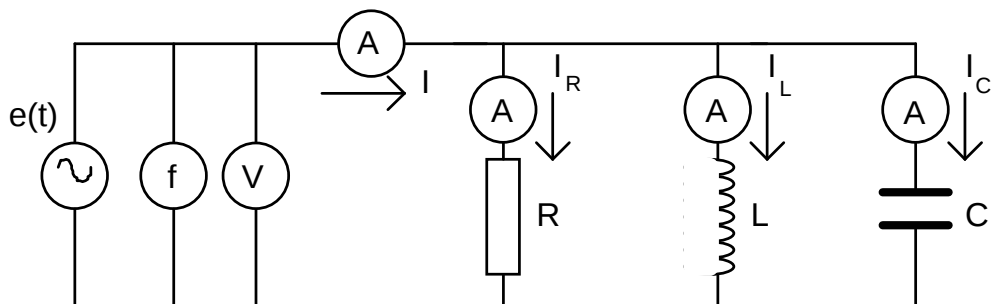
13.1. ЦИЉ ВЕЖБЕ

Циљ вежбе је, прво, провера релације између струја паралелно везаних елемената и, друго, испитивање утицаја величине индуктивности завојнице и капацитивности кондензатора на карактер реактансе паралелног РЛЦ кола при непромењивој учестаности генератора прикљученог на коло. У ту сврху потребно је измерити и израчунати струје кроз поједине елементе паралелног РЛЦ кола, те нацртати фазорски дијаграм струја.

13.2. ПРИБОР И ШЕМА МЕРЕЊА

Шема мерења је приказана на слици 13.1. Приликом реализације вежбе користе се следећи инструменти и опрема:

1. Ген. функц. ФУНКЦИОН ГЕНЕРАТОР ХП-3312А или МА 3733 као извор1 комад
2. Универз. инстр. ДИГИМЕР 30 или АВОМЕТАР као амперм. и волтметар..... 5 комада
3. Универз. бројач ХП-5314 А или ХП 5323А као фреквенцметар1 комад
4. Отпорна декада УНИСЕП или отпорници R_1 и R_2 1 комад
5. Кондензаторска декада УНИСЕП или кондензатори као C_1 и C_2 1 комад
6. Пригушница (L), без језгра, 0,12 Н, 12,5 Ω , 1200 намотаја (а-б),
0,5 Н, 32 Ω , 2400 намотаја (б-ц), 1 Н, 45 Ω , 3600 намотаја (а-ц)1 комад
7. Матадор плоча1 комад
8. Спојни проводници



Слика 13.1.

13.3. УВОДНО ОБЈАШЊЕЊЕ

За тренутну вредност струје кроз прикључке кола на слици 13.1., важи:

$$i = i_R + i_L + i_C \quad (13.1)$$

или у комплексном облику

$$\bar{I} = \bar{I}_R + \bar{I}_L + \bar{I}_C \quad (13.2.)$$

Величине у једначини 13.2. могу се, у геометријској представи, схватити као фазори.

И овде се, слично као у вежби са редним РЛЦ колом, може доћи до закључка да се ефективна вредност струје у грани са генератором не може добити као збир ефективних вредности струја у паралелним гранама, већ само на основу релације 13.1. или 13.2. односно сабирањем тренутних или комплексних вредности.

Комплексна адмитанса кола приказаног на слици 13.1. може се представити следећим изразом:

$$\bar{Y} = \frac{1}{\bar{Z}} = G + jB$$

чији је модул

$$Y = \sqrt{G^2 + B^2},$$

а аргумент

$$\Phi = \arctg \frac{B}{G},$$

где је:

$$B = B_L - B_C = \frac{1}{\omega L} - \omega C, \quad G = \frac{1}{R}.$$

Ефективна вредност струје у напојној грани је

$$I = YU,$$

а ефективне вредности струја кроз паралелне гране су:

$$I_R = GU, \quad I_L = B_L U, \quad I_C = B_C U.$$

Ако се за почетну фазу напона U узме $\Theta = 0^\circ$, онда је фазна разлика напона на прикључцима кола и струје кроз прикључке кола $\Phi = -\Psi$, што треба имати у виду при цртању фазорских дијаграма. Пре доласка на вежбу треба одредити комплексне вредности струја кроз елементе кола и представити фазорским дијаграмом једначину (13.2.) уз следеће услове: $U = 5 \text{ V}$, $f = 400 \text{ Hz}$, и следеће комбинације вредности за L , C и R :

- | | | |
|----------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| 1) $L_1 = 1 \text{ H}$, | $C_1 = 470 \text{ nF}$, | $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ |
| 2) $L_2 = 0,5 \text{ H}$, | $C_2 = 100 \text{ nF}$, | $R_2 = 4,7 \text{ k}\Omega$. |

13.4. ПОСТУПАК ИЗВОЂЕЊА ВЕЖБЕ

Повезати инструменте и прибор у електрично коло према слици 13.1., користећи се универзалном макетом. Проверити да ли су инструменти постављени да мере назначене величине. На пригушници одабрати две вредности индуктивности (1 Н одговара 3600 завојака - прикључци "а-ц", 0,5 Н одговара 2400 завојака - прикључци "б-ц") и комбиновати их са датим вредностима капацитета тако да у 1. случају коло буде индуктивног карактера, а у 2. случају капацитивног карактера. Спојити коло за индуктивни карактер кола (случај 1). Вредности капацитивности и отпорности одабрати преко преклопника на капацитивној и отпорној декади. Када наставник или асистент прегледа исправност спојене шеме и одобри укључивање, укључити извор и подесити $U = 5 \text{ V}$, фреквенцију $f = 400 \text{ Hz}$, а затим очитати

вредности свих струја у колу. Поступак поновити за другу комбинацију параметара. Резултате унети у табелу 13.1.

$$U = 5 \text{ V}$$

Табела 13.1.

	R[kΩ]	L[H]	C[nF]	U[V]	f[Hz]	I[mA]	I _R [mA]	I _L [mA]	I _C [mA]
1									
2									

Упоредити вредности добијене мерењем са израчунатим вредностима.

13.5. САДРЖАЈ ИЗВЕШТАЈА

Извештај о реализованој вежби треба да садржи:

- Циљ вежбе и електричну шему;
- Прорачун комплексних вредности струја у колу за вредности параметара извора и елемената кола задате у тачки 13.3.;
- Нацртан фазорски дијаграм за оба случаја;
- Табелу 13.1. са израчунатим и измереним вредностима;
- За 1. и 2. случај из тачке 13.4. израчунате вредности за V_L , V_C , V , Y и Θ ;
- Нацртане троуглове отпорности и проводности;
- Проверу релација за комплексне струје паралелно везаних елемената према једначини 13.2., односно да ли важи $I = I_R + I_L + I_C$ и зашто;
- Коментар евентуалних одступања резултата мерења и прорачунатих вредности;
- Нацртану (квалитативно) зависност ефективне вредности струје кроз прикључке кола, кроз завојницу, кондензатор и отпорник, за случај да се фреквенција извора мења од врло малих вредности (нуле) до врло великих вредности (бесконечно).

14. СНИМАЊЕ УНИВЕРЗАЛНИХ КРИВИХ РЕЗОНАНЦИЈЕ

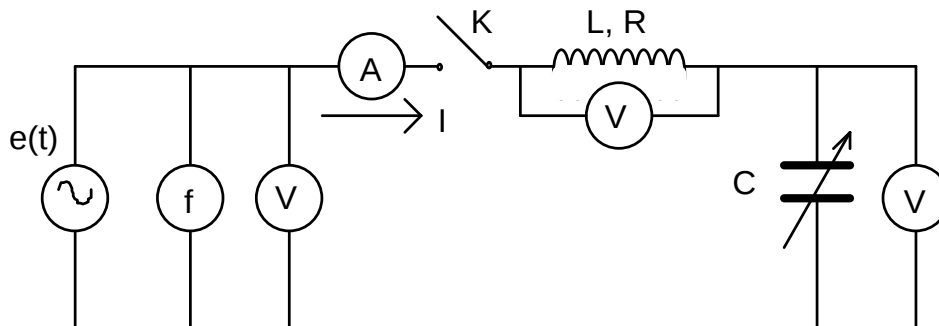
14.1. ЦИЉ ВЕЖБЕ

Циљ вежбе је, прво, експериментално постићи фазну резонанцију у редном РЛЦ колу променом једног од параметара кола и, друго, експериментално снимити криве резонанције у редном РЛЦ колу променом једног од параметара кола.

14.2. ПРИБОР И ШЕМА МЕРЕЊА

Шема мерења је приказана на слици 14.1. Приликом реализације вежбе користе се следећи инструменти и опрема:

1. Генератор функција ХП - 3312 А 1 комад
2. Пригушница (L) 3600 завојака, 45 Ω 1 комад
3. Кондензаторска декада УНИСЕП као кондензатор С 1 комад
4. Дигитални мултиметар ДИГИМЕР 30 и универзални инструмент
АВОМЕТАР као волтметар и амперметар 3 комада
5. Осцилоскоп (двоканални) Hewlet Packard HP 1222 А 1 комад
6. Универзални бројач HP 5314 А као фреквенцметар 1 комад
7. Матадор плоча 1 комад
8. Спојни проводници



Слика 14.1.

14.3. УВОДНО ОБЈАШЊЕЊЕ

У вежби број 12 могло се уочити да се при промени неког од параметара кола (или више њих истовремено) мењају ефективне вредности напона на елементима редног РЛЦ кола и струје кроз прикључке кола. Ефективна вредност струје кроз прикључке редног РЛЦ кола је:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} \quad (14.1.)$$

Одатле је очигледно да ће струја у колу имати највећу вредност при услову:

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \quad (14.2)$$

Каже се да је тада коло у фазној резонанцији (јер су напон прикључен у коло и струја кроз прикључке кола у фазном складу, тј. њихова фазна разлика је нула). Учестаност при којој се то догађа, на основу релације (14.2) дата је следећом релацијом

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

и назива се резонантна угаона учестаност. У овом случају, напони на завојници и кондензатору су једнаки по својим ефективним вредностима, а збир њихових комплексних вредности је једнак нули, па се ова врста резонанције назива и напонска резонанција.

Из израза (14.1) може се уочити да се фазна резонанција у редном (простом) РЛЦ колу може постићи:

- променом учестаности генератора f ,
- променом капацитивности C ,
- променом индуктивности L ,
- комбиновано, истовременом променом f , L и C .

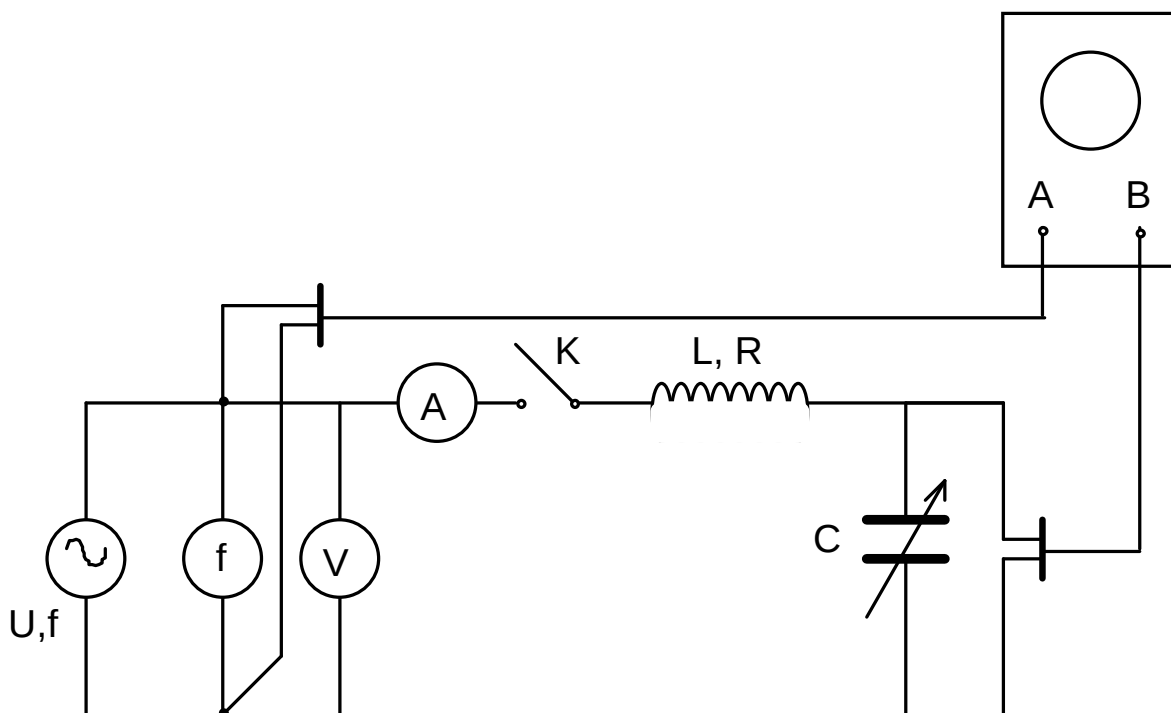
Пре доласка на вежбу треба прорачунати вредност учестаности, струју у колу и напоне на завојници и кондензатору, под условом да у колу на слици 14.1. наступи фазна резонанција, ако се зна да је $U = 5 \text{ V}$, $C = 220 \text{ nF}$, $L = 1 \text{ H}$ и $R = 100 \text{ }\Omega$. Такође, треба прорачунати напоне на елементима и струју у колу за неколико различитих вредности учестаности мањих и већих од вредности при фазној резонанцији. Вредности учестаности одабрати тако да се уочи карактеристичан облик кривих резонације.

14.4. ПОСТУПАК ИЗВОЂЕЊА ВЕЖБЕ

Повезати елементе према шеми на слици 14.1. Завојницу спојити између крајњих прикључака "а - ц" (3600 завојака). На капацитивној декади, помоћу преклопника, одабрати вредност капацитивности од 220 nF. Када наставник или асистент преконтролише исправност повезивања шеме и одобри укључивање, укључити генератор и подесити $U = 5 \text{ V}$, а затим мењати учестаност сигнала генератора док амперметар не покаже максималну струју у колу. Након тога универзалним инструментом, припремљеним да ради као волтметар, измерити напоне на завојници и кондензатору. Резултате уписати у табелу 14.1; затим довести напон са улаза кола на један канал (канал А) осцилоскопа, а напон са кондензатора на други канал (канал Б) осцилоскопа, као на слици 14.2, и подесити слику на осцилоскопу. Прекидачем "SWP" (временска база) искључити временску базу, чиме се сигнал доведен на канал А доводи на хоризонталне, а сигнал доведен на канал Б на вертикалне отклонске плоче катодне цеви осцилоскопа. Ако се коло налази у фазној резонанси, на екрану осцилоскопа треба да се појави централна елипса. Ако се прекидачем "SWP" укључи временска база, на екрану осцилоскопа ће се појавити два таласна облика. Проверити да ли је фазни помак између њих 90° и да ли напон на кондензатору касни за напоном прикљученим на коло.

Табела 14.1.

	R [Ω]	L [H]	C [nF]	f [Hz]	U [V]	I [mA]	U _L [V]	U _C [V]
Израчунато								
Измерено								



Слика 14.2.

На овај начин је утврђено да се коло налази у фазној резонанси. Сада треба веома пажљиво прво смањити, а затим повечати учестаност сигнала генератора у односу на учестаност при фазној резонанси и одредити учестаност при којој напон на кондензатору, а затим напон на завојници имају максималну вредност. Ове вредности уписати на почетку табеле 14.2.

Након тога у даљем поступку узети неколико вредности учестаности које су мање од учестаности при резонанси и неколико које су веће и за те вредности измерити струју у колу и напоне на завојници и кондензатору. Ове резултате, такође, уписати у табелу 14.2.

Када се обаве назначена мерења поново подесити раније задате параметре кола, да се постигне фазна резонанција. Након тога мењати капацитивност, користећи преклопнике на капацитивној декади и уочити да опет долази до промене напона на елементима кола и струје у колу, као и при промени учестаности. Постићи фазну резонанцију у колу при некој другој вредности капацитивности и учестаности, различитој од задатих у вежби. Забележити своја запажања и закључке.

Проверити слагање измерених и израчунатих величина и извести закључке о одступањима.

Табела 14.2.

f [Hz]	I [mA]		U _L [V]		U _C [V]	
	Израчу- нато	Измерено	Израчу- нато	Измерено	Израчу- нато	Измерено

14.5. САДРЖАЈ ИЗВЕШТАЈА

Извештај о реализованој вежби треба да садржи:

- а) Циљ вежбе и електричну шему;
- б) Прорачун вредности капацитета, напона на елементима и струје у колу за услове дате у одељку 14.3;
- в) Резултате мерења сређене у табелама 14.1 и 14.2;
- г) Прорачун фактора добротe кола Q и нацртан фазорски дјаграм за вредности добијене мерењем у табели 14.1;
- д) Објашњење појаве пренапона и да ли су пренапони највећи при фазној резонанцији;
- ђ) Објашњење да ли напон измерен волтметром на завојници представља напон на чистом индуктивитету (идеалном калему);
- е) Неколико примера примене резонантних појава;
- ж) Објашњење појма фазне антирезонанције.

15. ВЕЗИВАЊЕ ТРОФАЗНИХ ПРИЈЕМНИКА У ЗВЕЗДУ

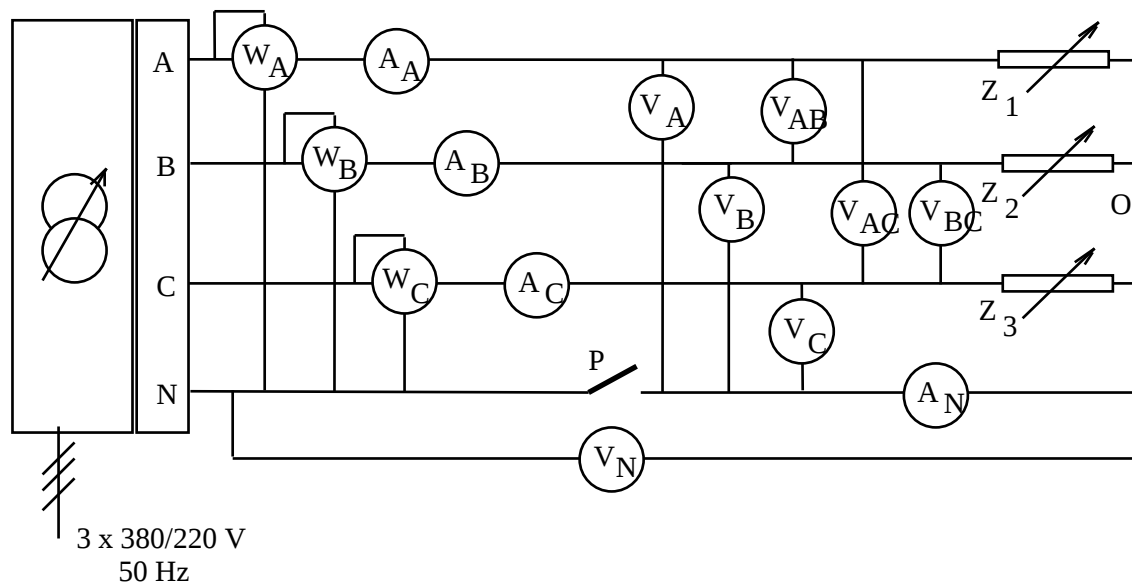
15.1. ЦИЉ ВЕЖБЕ

Циљ вежбе је да се путем мерења струја и напона у систему трофазно везаних пријемника (потрошача) провере односи између фазних и међуфазних струја и напона при вези пријемника у звезду, као и понашање трофазних кола при симетричном и несиметричном режиму рада.

15.2. ПРИБОР И ШЕМА МЕРЕЊА

Шема мерења је приказана на слици 15.1. Приликом реализације вежбе користе се следећи инструменти и опрема:

1. Регулациони трофазни трансформатор 3x380/0-470 V, 50 Hz 1 комад
2. Регулациони отпорник 1,3 k Ω , 0,35 A 3 комада
3. Универзални инструмент УНИМЕР 33 11 комада
4. Ватметар ЕЛ 0120 3 комада
5. Дигитални мултиметар ДИГИМЕР 10 1 комад
6. Прекидач П 1 комад
7. Спојни проводници



Напомена: Старе ознаке за фазе А, В, С су R, S, T, а за неутрални проводник N ознака О.

Слика 15.1.

15.3. УВОДНО ОБЈАШЊЕЊЕ

Ако су све три импедансе трофазног пријемника спојеног у звезду једнаке, онда говоримо о трофазној симетричној (уравнотеженој) звезди. За тај случај важи:

$$U = \sqrt{3}U_p \quad (15.1)$$

$$I = I_p \quad (15.2)$$

$$P = \sqrt{3}UI \cos \Phi \quad (15.3)$$

где су:

- U - ефективна вредност међуфазног (сложеног, линијског) напона,
- U_p - ефективна вредност напона на елементима пријемника,
- I - ефективна вредност фазне струје (струје кроз фазни проводник),
- I_p - ефективна вредност струје кроз елементе пријемника,
- P - средња или активна снага целог трофазног пријемника
- Φ - фазна разлика напона и струје на елементима пријемника.

Код симетричне трофазне звезде кроз неутрални проводник не тече струја, па систем може функционисати и без њега.

Уколико су импедансе пријемника различите, онда је такав систем несиметричан (неуравнотежен). Тада кроз неутрални (нулти) проводник тече струја I_N и звездиште пријемника се налази, у односу на звездиште извора, под напоном:

$$\bar{U}_N = \frac{\bar{Y}_1 \bar{U}_1 + \bar{Y}_2 \bar{U}_2 + \bar{Y}_3 \bar{U}_3}{\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 + \bar{Y}_3 + \bar{Y}_N} \quad (15.4)$$

Напони на крајевима поједних пријемника су тада различити и износе:

$$\bar{U}'_A = \bar{U}_A - \bar{U}_N \quad \bar{U}'_B = \bar{U}_B - \bar{U}_N \quad \bar{U}'_C = \bar{U}_C - \bar{U}_N \quad (15.5)$$

У случају прекида неутралног проводника, напон U_N поприма највећу вредност, а несиметрија појединих фаза постаје најизраженија. У случају прекида једног фазног проводника, напон и струја те фазе падају на нулу, на пример $I_A = 0$, $U_{Z1} = 0$, напони и струја исправних проводника остају непромењени, а кроз неутрални проводник тече струја

$$\bar{I}_N = \bar{I}_B + \bar{I}_C \quad (15.6)$$

Ако при томе дође и до прекида неутралног проводника ($I_N = 0$), јавља се напон звездишта U_N , а због услова

$$\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = 0 \quad \text{и} \quad \bar{I}_A = 0$$

струје у проводницима линија В и С постају једнаке по ефективној вредности.

Ако код несиметричне звезде без неутралног проводника дође до кратког споја једног пријемника, на пример у првој фази, онда је $U_{Z1} = 0$, напон звездишта порасте на вредност фазног напона ($U_N = U_A$), а напони на исправним фазама достижу вредности међуфазних напона ($U_B \rightarrow U_{BA}$, $U_C \rightarrow U_{CA}$), струја $I_A = 0$, а струје I_B и I_C порасту.

15.4. ПОСТУПАК ИЗВОЂЕЊА ВЕЖБЕ

Повезати све елементе трофазног кола према шеми на слици 15.1. Подесити вредност сва три променљива отпорника на $500\ \Omega$ (користећи универзални инструмент ДИГИМЕР 10 спојен као омметар). Прекидач П треба да је затворен. Након контроле исправности спојене мреже, укључити извор трофазног напона и подесити га да линијски напон износи $U = 60\text{ V}$. Очитати вредности свих струја и напона и резултате уписати у табелу 15.1.

Отворити прекидач П (систем без или са прекинутим неутралним проводником) и проверити стање инструмената. Очитати снагу на сва три ватметра и одредити укупну снагу трофазног система ($P = P_1 + P_2 + P_3$), при чему ватметри морају бити на мерном опсегу 48 V ($c=2\text{ W/подеок}$). Резултате уписати у табелу 15.2.

Након овога поставити произвољно отпорност сва три пријемника на различите вредности. Измерити њихове отпорности и напоне при затвореном прекидачу П и уписати у табелу 15.3. Отворити прекидач П и поновити сва очитавања инструмената. При затвореном прекидачу П обавити прекид прве фазе (одспајањем прикључка проводника) и очитати све струје и напоне, затим затворити прекидач и поново очитати инструменте. Све резултате уписати у табелу 15.3.

При отвореном прекидачу П кратко спојити пријемник у првој фази и измерити све струје и напоне и такође уписати у табелу 15.3.

Симетрична звезда

Табела 15.1.

Мерна велич.	U_N [V]	U_A [V]	U_B [V]	U_C [V]	U_{AB} [V]	U_{BC} [V]	U_{AC} [V]	I_A [A]	I_B [A]	I_C [A]	I_N [A]	Z [Ω]
Измер. вредн.												

Симетрична звезда

Табела 15.2.

Мерна величина	P_1 [W]	P_2 [W]	P_3 [W]	ΣP [W]
Измерена вредност				

Несиметрична звезда

Табела 15.3.

Мерна велич.	U_N [V]	U_A [V]	U_B [V]	U_C [V]	U_{AB} [V]	U_{BC} [V]	U_{AC} [V]	I_A [A]	I_B [A]	I_C [A]	I_N [A]	Z_i [Ω]
Са неутр. провод.												
Без неутр. провод.												
Прекид фазе са неутр. пров.												
Прекид фазе без неутр. пров.												
Кр. спој без неутр. пров.												

Проверити слагање измерених и израчунатих величина и извести закључке о одступањима.

15.5. САДРЖАЈ ИЗВЕШТАЈА

Извештај о реализованој вежби треба да садржи:

- а) Циљ вежбе и електричну шему;
- б) Резултате мерења сређене у табелама 15.1, 15.2 и 15.3;
- в) Коментар свих испитиваних случајева;
- г) Прорачун снага P_1 , P_2 , P_3 и ΣP на основу резултата мерења струја и напона за случај симетричне звезде;
- д) Прорачун вредности напона звездишта U_N за случај несиметричне звезде за измерене вредности фазних напона и импеданси.

16. ВЕЗИВАЊЕ ТРОФАЗНИХ ПРИЈЕМНИКА У ТРОУГАО

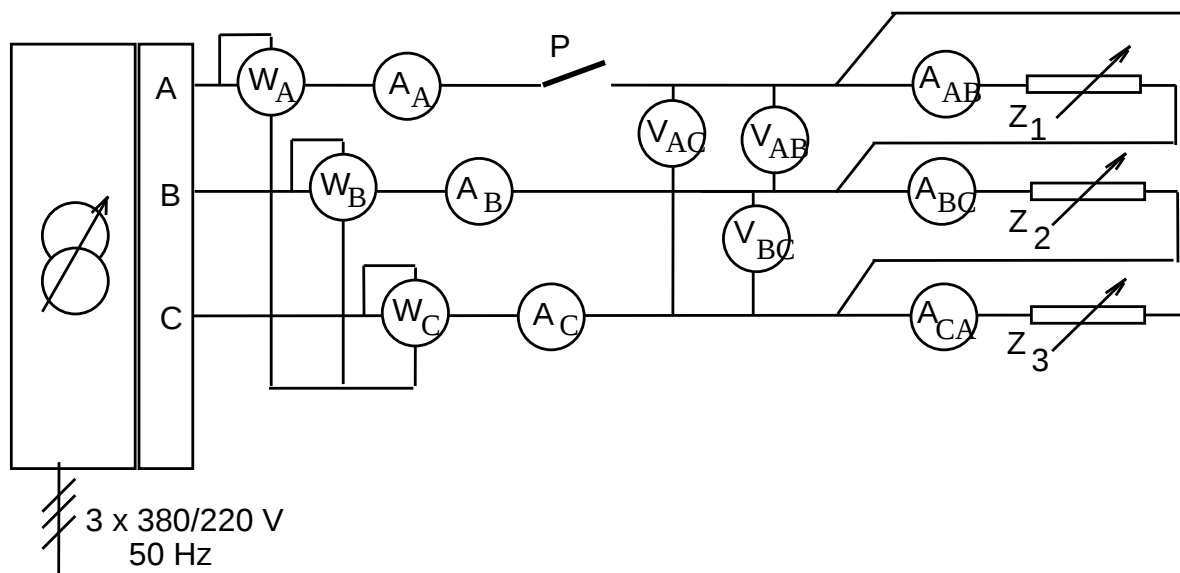
16.1. ЦИЉ ВЕЖБЕ

Циљ вежбе је да се путем мерења струја и напона у систему трофазно везаних пријемника (потрошача) у троугао провере односи између фазних и међуфазних струја и напона, као и понашање трофазних кола при симетричном и несиметричном режиму рада.

16.2. ПРИБОР И ШЕМА МЕРЕЊА

Шема мерења је приказана на слици 16.1. Приликом реализације вежбе користе се следећи инструменти и опрема:

1. Регулациони трофазни трансформатор 3x380/0-470 В, 50 Хз 1 комад
2. Регулациони отпорник 1,3 кΩ, 0,35 А 3 комада
3. Универзални инструмент УНИМЕР 33 9 комада
4. Ватметар ЕЛ 0120 3 комада
5. Дигитални мултиметар ДИГИМЕР 10 1 комад
6. Прекидач П 1 комад
7. Спојни проводници



Слика 16.1.

16.3. УВОДНО ОБЈАШЊЕЊЕ

Ако су све три импедансе пријемника спојеног у троугао једнаке, онда је то трофазни симетрични (уравнотежени) троугао. За тај случај важи:

$$U = U_p \quad (16.1)$$

$$I = \sqrt{3}I_p \quad (16.2)$$

$$P = \sqrt{3}UI \cos \Phi \quad (16.3)$$

где ознаке имају исто значење као у вежби 15, у релацијама 15.1 - 15.3.

Везивање пријемника (потрошача) у троугао се примењује највише код трофазних електромотора.

Ако импедансе пријемника нису једнаке онда се ради о несиметричној вези у троугао. Међутим, међуфазни напони остају симетрични без обзира на несиметричност пријемника, јер су то напони узети директно са прикључака генератора (односно из мреже). У овом случају долази једино до несиметрије струја. Збир фазних струја је једнак нули, али се збир међуфазних струја (струја кроз елементе пријемника) разликује од нуле, тј.:

$$\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = 0 \quad (16.4)$$

$$\bar{I}_{AB} + \bar{I}_{BC} + \bar{I}_{AC} \neq 0 \quad (16.5)$$

Везе фазних и међуфазних струја су дате релацијама:

$$\begin{aligned} \bar{I}_A &= \bar{I}_{AB} - \bar{I}_{CA} & \bar{I}_B &= \bar{I}_{BC} - \bar{I}_{AB} & \bar{I}_C &= \bar{I}_{CA} - \bar{I}_{BC} \end{aligned} \quad (16.6)$$

Међуфазне струје се преко међуфазних напона и импеданси пријемника добијају релацијама:

$$\bar{I}_{AB} = \frac{\bar{U}_{AB}}{Z_1} \quad \bar{I}_{CA} = \frac{\bar{U}_{CA}}{Z_2} \quad \bar{I}_{BC} = \frac{\bar{U}_{BC}}{Z_3} \quad (16.7)$$

У случају прекида у грани са елементом пријемника, на пример првог ($Z_1 = \infty$), струја кроз тај пријемник једнака је нули, струје осталих пријемника се не мењају, а фазне струје између тачака прекида (I_A, I_B) опадају на вредности струја кроз пријемнике, тј. $I_A = I_{CA}$, $I_B = I_{BC}$, док је трећа струја непромењена. Ако дође до прекида фазног проводника, на пример фазе А, онда је $I_A = 0$, а струје друга два фазна проводника се смањују и међусобно су једнаке ($I_B = I_C$). Струје кроз елементе пријемника I_{AB} и I_{CA} се смањују, а струја I_{BC} остаје непромењена.

16.4. ПОСТУПАК ИЗВОЂЕЊА ВЕЖБЕ

Повезати све елементе трофазног кола према шеми на слици 16.1. Подесити вредност сва три променљива отпорника на 500 Ω (користећи универзални инструмент ДИГИМЕР 10 спојен као омметар). Прекидач П треба да је затворен. Након контроле исправности спојене мреже, укључити извор трофазног напона и подесити га да међуфазни напон износи $U = 60$ V. Очитати вредности свих струја и напона и резултате уписати у табелу 16.1. Очитати снагу на сва три ватметра и одредити укупну снагу трофазног система ($P = P_1 + P_2 + P_3$), при чему ватметри морају бити на мерном опсегу 48 V (с=2 W/подеок). резултате уписати у табелу 16.2.

Након овога поставити произвољно отпорност сва три пријемника на различите вредности. Измерити њихове отпорности. При затвореном прекидачу П измерити све струје и напоне и уписати у табелу 16.3. Отворити прекидач П (остваривање прекида фазног

проводника) и поновити сва читавања инструмената. Затим затворити прекидач П, а одспајањем прикључака на првом отпорнику остварити прекид у грани првог елемента пријемника, те очитати све струје и напоне и уписати у табелу 16.3.

Симетрични троугао

Табела 16.1.

Мерна велич.	U_{AB} [V]	U_{CA} [V]	U_{BC} [V]	I_A [A]	I_B [A]	I_C [A]	I_{AB} [A]	I_{CA} [A]	I_{BC} [A]	Z_1 [Ω]	Z_2 [Ω]	Z_3 [Ω]
Измер. вредн.												

Симетрични троугао

Табела 16.2.

Мерна величина	P_1 [W]	P_2 [W]	P_3 [W]	ΣP [W]
Измерена вредност				

Несиметрични троугао

Табела 16.3.

Мерна велич.	U_{AB} [V]	U_{CA} [V]	U_{BC} [V]	I_A [A]	I_B [A]	I_C [A]	I_{AB} [A]	I_{CA} [A]	I_{BC} [A]	Z_1 [Ω]	Z_2 [Ω]	Z_3 [Ω]
Исправ. систем												
Прекид линије												
Прекид фазе												

16.5. САДРЖАЈ ИЗВЕШТАЈА

Извештај о реализованој вежби треба да садржи:

- Циљ вежбе и електричну шему;
- Резултате мерења сређене у табелама 16.1, 16.2 и 16.3;
- Коментар свих испитиваних случајева;
- Прорачун снага P_1 , P_2 , P_3 и ΣP на основу резултата мерења струја и напона за случај симетричног троугла;
- Објаснити зашто се код електромотора веће снаге употребљава искључиво веза намотаја у троугао.
- Упоредити снагу система симетричних пријемника (потрошача) везаних у троугао и звезду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Покорни С.: Лабораторијске вежбе из основа електротехнике, Електротехнички факултет, Српско Сарајево, 1997. - 2005. (радни материјали)
2. Покорни С.: Лабораторијске вежбе из електротехнике и теорије електричних кола, ЦВШ ВЈ, Универзитет ВЈ, Општа Војна академија, Београд, 1993.
3. Покорни С., Алатовић И.: Лабораторијске вјежбе из основа електротехнике, Школски центар РВ и ПВО, Рајловац, Сарајево, 1988.
4. Јанковић Б.: Лабораторијске вежбе из електротехнике 1/1, Електротехнички факултет, Сарајево, 1988.
5. Стојић Р. М.: Приручник за лабораторијске вежбе из основа електротехнике, Електротехнички факултет, Београд, 1985.
6. Поповић Б.: Основи електротехнике 1, Грађевинска књига, Београд, 1976.
7. Поповић Б.: Основи електротехнике 2, Грађевинска књига, Београд, 1986.
8. Милатовић Б.: Основи електротехнике 1, Свјетлост, Сарајево, 1983.
9. Милатовић Б.: Основи електротехнике 2, Свјетлост, Сарајево, 1985.
10. Ранојевић М.: Основи електротехнике, Грађевинска књига, Београд, 1968.
11. Ранојевић М.: Основи електротехнике, наизменичне струје, Грађевинска књига, Београд, 1971.
12. Пинтер В.: Основе електротехнике, књига прва, Техничка књига, Загреб, 1978.
13. Пинтер В.: Основе електротехнике, књига друга, Техничка књига, Загреб, 1978.
14. Николић Љ. Н., Петровић В.: Опасност и заштита од електричне струје, Ниш, 1976.
15. Министерство просвешћенија РСФСР: Катушка дља демонстрации магнитново поља МПТм (учебнаја), Просвешћение, Москва, 1981.

ОСНОВНЕ ВЕЛИЧИНЕ И ЊИХОВЕ ЈЕДИНИЦЕ

Данас је у свету скоро потпуно прихваћен и примењен (осим у Сједињеним Америчким Државама и Великој Британији, које још увек користе и тзв. англосаксонски систем јединица) тзв. Међународни систем јединица (уобичајена је скраћеница SI, која потиче од француског назива *Systeme International*), који је установљен 1960. године на основу старијег метар-килограм-секунда (МКС) система. SI систем је у Социјалистичкој Федеративној Републици Југославији прихваћен 1976. године. SI је динамичан систем, који је допуњаван. У том систему је седам *основних величина* и њихових јединица, које су дате у табели П1.1. На 11. Међународној конференцији за мере и тегове, 1960. године, усвојено је првих 6 основних величина, а 1971. године је додата и седма основна величина.

Табела П1.1

Р. бр.	ОСНОВНА ВЕЛИЧИНА	ОСНОВНА ЈЕДИНИЦА	
		Назив	Ознака
1	дужина	метар	m
2	маса	килограм	kg
3	време	секунд	s
4	интензитет струје	ампер	A
5	температура	келвин	K
6	интензитет осветљења	кандела	cd
7	количина материје	мол	mol

У електротехници су довољне четири основне јединице да се изведу практично све остале, које се називају изведене јединице. Те четири основне јединице су: дужина, маса, време и интензитет струје, а јединице m, kg, s, A, па се називао и MKSA систем. Изведене јединице се изражавају преко ових основних.

На пример, основна геометријска величина је дужина, а њена јединица [m]. Површина је изведена величина. Како се добија њена јединица. На пример, површина квадрата се добија релацијом $S = a^2$. Јединица за површину се добија ако се стави $a=1$ m. Одакле следи да је јединица за површину $[m^2]$.

При формирању изведених јединица нумерички фактори се изостављају. На пример површина круга се добија релацијом $S = r^2 \pi$. Ако се стави $r=1$ m, а π се изостави, добија се $[m^2]$.

Или, на пример, сила је изведена величина, која се добија релацијом $F = ma$, где је „m“ маса, чија је јединица [kg], а „a“ означава убрзање, чија је јединица $[m/s^2]$. Одатле произилази да је јединица за силу $[kg \cdot m/s^2]$. Неке изведене јединице добијају и посебне називе. Тако је и јединица за силу добила назив њутн, са ознаком [N].

Овде су споменуте само неке изведене величине, како би се схватио начин формирања њихових јединица.

Од осталих изведених величина, споменућемо енергију, рад и снагу.

Енергија неког ситема је позитивна величина која се при промени стања система не мења (закон о одржању енергије), али у том систему може *прелазити* из једног облика у други. У том смислу се каже да је утрошена нека енергија, тј. да је одређена количина енергије једне врсте претворена у неку другу врсту. Синоним за то је да је на рачун прве врсте енергије *извршен рад* бројно једнак утрошеној енергији (која је, подразумева се, претворила у неки други вид енергије).

Рад (једнак утрошеној енергији) може бити и позитиван и негативан, с обзиром да утрошак енергије може бити и позитиван и негативан (односно енергија се може и узимати од извора и доводити њему). Рад је увек везан за одређен извор енергије. Према томе, рад се врши, а не троши, снага се не троши, извор не поседује рад већ енергију.

Јединица за рад и енергију је иста, џул $[J] = [N\ m]$.

Снагом система се назива брзина трошења енергије система (или вршења рада). Пошто се дефинише преко промене енергије, и снага система, као и рад, је алгебарска величина. У интервалима времена у којима је снага позитивна, енергија одлази из извора и обрнуто. Према томе рад и снага су везани за промену енергије, тј. за извор (одакле потиче енергија).

Јединица за снагу је ват $[W] = [J/s]$. На пример, када кажемо да је снага извора $-10\ W$, то значи да се енергија брзином од $10\ J/s$ одводи извору.

Однос неке физичке величине и њене јединице је чист број, који се назива бројна (нумеричка) вредност те величине. Нумеричка вредност и јединица се пишу тако да између њих постоји размак. Иза ознаке јединице физичке величине се не ставља тачка, осим ако се не налази на крају реченице. За издате јединице ознаке се пишу са размаком између или са тачком која означава „пута“, на пример $[N\ m]$ или $[N \cdot m]$. Ако се ради о јединици изведене величине у облику количника, могу се писати у облицима, на пример $[kg\ m/s^2]$, $[kg\ m\ s^{-2}]$ или $[kg\ \frac{m}{s^2}]$, односно тако да неможе доћи до двосмисленог тумачења.

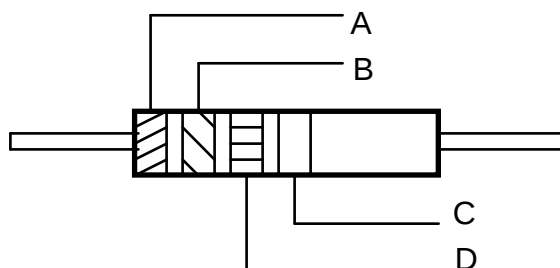
Често су јединице SI система непогодне по реду величине за описивање неких појава. Тада се користе стандардне помоћне јединице, означене префиксима (видети табелу П1.2). Ови префикси су усвојени у периоду 1960. до 1001. године путем 4 резолуције. На пример струја интензитета једног милионитог дела ампера (а у пракси у електроници постоје и знатно мање струје) могла би се записати као $0,000001\ A$, или $1\ 10^{-6}\ A$, или, коришћењем префикса, као $1\ \mu A$. Или снагу од милијарду вати, могли би записати као $1000000000\ W$ или $10^9\ W$ или $1\ GW$.

Према томе употреба префикса омогућује краћи и прегледнији запис бројне вредности физичке величине. Није дозвољена вишеструка употреба префикса уз једну јединицу.

ПРЕФИКСИ ЗА ОЗНАЧАВАЊЕ ВЕЛИКИХ И МАЛИХ МЕРНИХ ЈЕДИНИЦА

МНОЖИТЕЉ	ПРЕФИКС	ОЗНАКА
$10^{24} = 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$	јота	Y
$10^{21} = 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$	зета	Z
$10^{18} = 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$	екса	E
$10^{15} = 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000$	пета	P
$10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000\,000$	тера	T
$10^9 = 1\,000\,000\,000$	гига	G
$10^6 = 1\,000\,000$	мега	M
$10^3 = 1\,000$	кило	k
$10^2 = 100$	хекто	h
$10^1 = 10$	дека	da
$10^{-1} = 0,1$	деци	d
$10^{-2} = 0,01$	центи	c
$10^{-3} = 0,001$	мили	m
$10^{-6} = 0,000\,001$	микро	μ
$10^{-9} = 0,000\,000\,001$	нано	n
$10^{-12} = 0,000\,000\,000\,001$	пико	p
$10^{-15} = 0,000\,000\,000\,000\,001$	фемто	f
$10^{-18} = 0,000\,000\,000\,000\,000\,001$	ато	a
$10^{-21} = 0,000\,000\,000\,000\,000\,000\,001$	зепто	z
$10^{-24} = 0,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,001$	јокто	y

ОБЕЛЕЖАВАЊЕ ОТПОРНИКА БОЈАМА



БОЈА	ПРВИ И ДРУГИ БРОЈ	МНОЖИТЕЉ	ТОЛЕРАНЦИЈА [±%]
	AB	C	D
=====			
Црна	0	1	-
Смеђа (браон)	1	10	1
Црвена	2	10 ²	2
Наранђаста	3	10 ³	3
Жута	4	10 ⁴	4
Зелена	5	10 ⁵	5
Плава	6	10 ⁶	6
Љубичаста	7	10 ⁷	7
Сива	8	10 ⁸	8
Бела	9	10 ⁹	9
Златна	-	10 ⁻¹	5
Сребрна	-	10 ⁻²	10
Без боје	-	-	2

Вредност отпорности отпорника добија се према релацији:

$$R = AB \cdot C \pm D \quad [\Omega]$$

УНИВЕРЗИТЕТ У ИСТОЧНОМ САРАЈЕВУ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНИКЕ ____

Лабораторијска вежба број _____

(назив вежбе)

(Презиме и име)

Број индекса _____

Датум израде _____

Датум одбране _____

ОСНОВНА ЕЛЕКТРИЧНА МЕРЕЊА

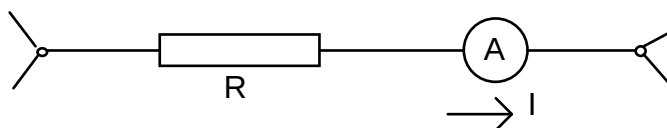
Под електричним мерењима подразумева се мерење електричних величина: јачине струје, напона, отпорности, снаге.

Електрична мерења имају обимну примену и представљају и посебан наставни предмет. Овде ће се објаснити само неки основни појмови и методе електричних мерења како би се са разумевањем обавила предвиђена мерења у оквиру лабораторијских вежби из предмета Основи електротехнике 1 (мреже са временски константним струјама) и Основи електротехнике 2 (мреже са простопериодичним струјама).

1. ОСНОВНА МЕРЕЊА У МРЕЖАМА СА ВРЕМЕНСКИ КОНСТАНТНИМ СТРУЈАМА

1.1. Мерење јачине струје

Обавља се мерним инструментом који се назива амперметар. Амперметри мере јачину струје користећи њене различите ефекте (топлотни, хемијски, магнетски). Мерење јачине струје се најчешће врши тако да се електрично коло или грана мреже, у којој се жели измерити јачина струје, прекине, па се споји преко амперметра. Дакле, амперметар се серијски везује у грану мреже у којој се жели измерити јачина струје. Ознака амперметра је кружић са уписаним великим словом А. Везивање амперметра у коло и његова ознака приказани су на слици 1.



Слика 1.

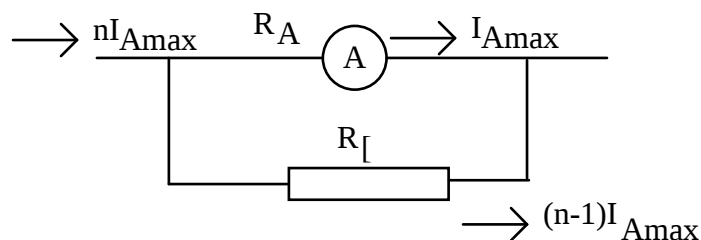
Очигледно да уношење амперметра у коло ремети стање у мрежи, тј. мења јачину струје кроз гране, што доводи до систематске грешке у мерењу. Да би то ремећење било што мање амперметар треба да има што мању сопствену или унутрашњу отпорност.

Лако је закључити да систематска грешка зависи од односа унутрашње отпорности амперметра и отпорности еквивалентног Тевененовог генератора у односу на тачке за које је амперметар везан.

Поред унутрашње отпорности важна карактеристика је и максимална струја коју може да мери амперметар, као и то да ли показивање зависи од смера струје кроз њега. Ако зависи, ознаком "+" се обележава крај који мора бити на вишем потенцијалу да би показивање било коректно.

Амперметри конструисани за мерење малих струја могу се прилагодити, додавањем паралелних отпорника, за мерење већих струја. То је тзв. промена мерног опсега, што већина има уграђено, тј. више паралелно везаних отпорника који се бирају преклопником.

На слици 2. је приказан амперметар унутрашње отпорности R_A који може да мери струју максималне јачине $I_{A\max}$, подешен да може да мери n пута већу јачину струје од $I_{A\max}$.



Слика 2.

Потребна вредност отпорности паралелно везаног отпорника $R_{\check{S}}$, добија се из следећег услова:

$$R_A I_{A_{\max}} = R_L (n-1) I_{A_{\max}}$$

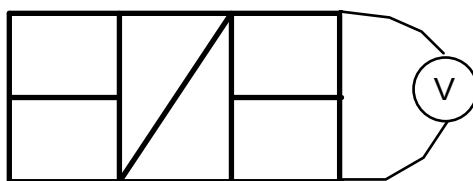
одакле следи

$$R_L = \frac{R_A}{n-1}$$

1.2. Мерење напона и електромоторне силе

Обавља се мерним инструментом који се назива волтметар. Има их више врста. Теоријски и сваки амперметар може да се прилагоди за мерење напона, а тако се практично и ради. Инструмент се тада назива универзални инструмент или „универ“. Постоје и другачије конструкције, на пример електростатички волтметар који користи електричну силу (или обртни моменат) између два тела на различитим потенцијалима.

Ознака волтметра је кружић са уписаним великим словом V. Ради мерења напона, волтметар се везује за две тачке између којих желимо да измеримо напон. То могу бити тачке које припадају једној грани или било које две тачке у колу (мрежи), као што је то шематски приказано на слици 3., где је мрежа приказана графом.



Слика 3.

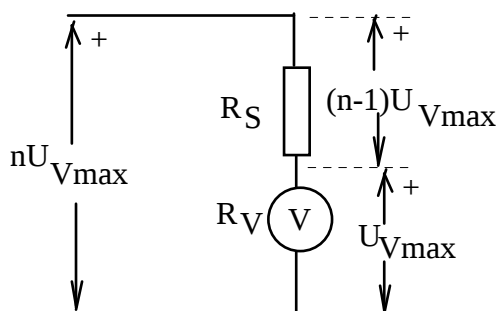
Волтметар такође ремети стање у мрежи, али утолико мање уколико је његова унутрашња отпорност већа. Најбољи је случај када је она бесконачно велика, када не долази до ремећења стања у мрежи.

За разлику од амперметра, овде важи да је мерење прецизније ако је унутрашња отпорност волтметра много већа од унутрашње отпорности еквивалентног Тевененовог генератора којим се може заменити мрежа у односу на тачке између којих се врши мерење, што лако може свако и сам да покаже.

Унутрашња отпорност волтметра зависи од врсте волтметра и мерног опсега и креће се од $10 \text{ k}\Omega$ до $100 \text{ k}\Omega$, а код електростатичких волтметара и до неколико стотина $\text{M}\Omega$.

И волтметри се могу прилагодити за мерење већих напона, али додавањем на ред отпорника одговарајуће отпорности. Као и код амперметра, то је тзв. промена мерног опсега, што већина има уграђено, и бира се преклопником.

На слици 4. је приказан волтметар унутрашње отпорности R_V који може да мери максимални напон U_{Vmax} , подешен да може да мери n пута већи напон од U_{Vmax} .



Слика 4.

Потребна вредност отпорности редно везаног отпорника R_S , добија се из следећег услова:

$$\frac{(n-1)U_{Vmax}}{R_S} = \frac{U_{Vmax}}{R_V}$$

одакле следи

$$R_S = (n-1)R_V$$

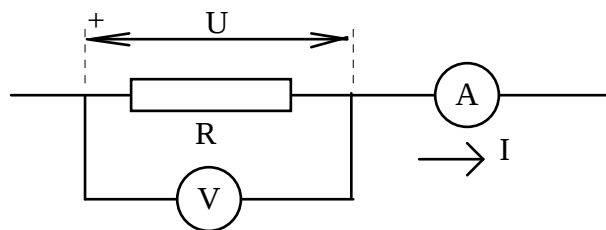
У пракси се, најчешће, користи исти инструмент и за мерење јачине струје и за мерење напона, а преклопником се одређује величина која се мери, и опсег мерења. Такви инструменти се, како је већ напоменуто, називају универзални инструменти.

У данашње време се уместо инструмената са скалом, најчешће користе дигитални или цифарски инструменти. Код њих је мања могућност грешке због нетачног читавања. Тачност им се креће од 0,1% до 0,002%.

1.3. Мерење отпорности

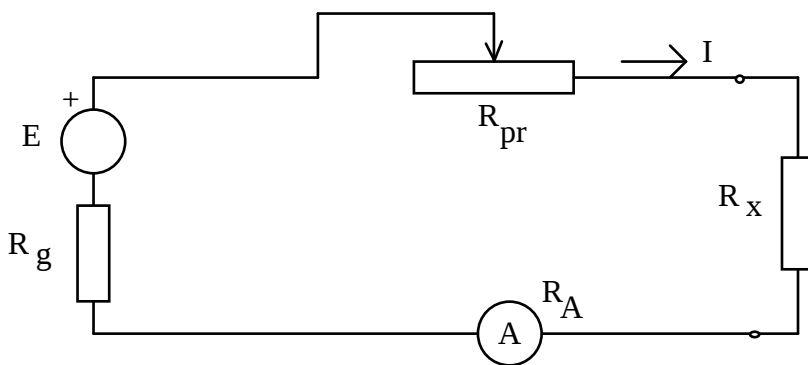
Отпорност неког отпорника се увек може измерити истовременим мерењем напона између његових крајева и јачине струје кроз њега (U-I метода). Једна од могућности везивања амперметра и волтметра је приказана на слици 5. Отпорност отпорника се затим, на основу измерених вредности напона и струје, израчуна (индиректна метода мерења) на основу Омовог закона

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



Слика 5.

Постоје и инструменти подешени специјално за мерење отпорности. Зову се омметри. Обично се користе за груба мерења јер им је тачност релативно мала. Шема најједноставнијег омметра приказана је на слици 6. Е представља електромоторну силу, а R_g унутрашњу отпорност извора напајања (обично је то сува батерија), R_{pr} је вредност дела променљивог отпорника који је укључен у коло, а R_x је отпорност непознатог отпорника чија вредност жели да се измери омметром.



Слика 6.

Јачина електричне струје у колу на слици 6. дата је изразом

$$I = \frac{E}{R_x + R_g + R_A + R_{pr}}$$

Када је $R_x = 0$ (крајеви омметра краткоспојени) јачина струје је највећа. Ако се помоћу R_{pr} подеси да казаљка инструмента скреће максимално, за $R_x \neq 0$ скретање ће увек бити мање. За $R_x = \infty$ (отворени крајеви инструмента) скретања нема. Скретање за било коју вредност отпорности отпорника R_x се може прорачунати на основу горње релације или баждарити мерењем отпорника познате отпорности.

Најчешће се омметар налази у склопу универзалног инструмента.

За прецизна мерења користе се мерне мреже, на пример, Витстонов мост.

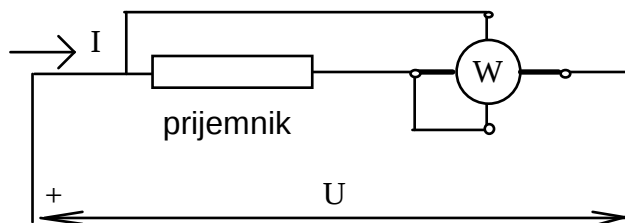
1.4. Мерење снаге пријемника

Мерење снаге било ког пријемника увек се може извршити мерењем напона између његових крајева и јачине струје кроз њега (као на слици 5.), па се снага одређује релацијом (индиректна метода мерења)

$$P = U \cdot I$$

Постоје и посебни инструменти који снагу мере директно. Називају се ватметри. Увек имају четири прикључка. Један пар прикључака (струјни прикључци, дебље линије на слици 7.) се везује серијски, са пријемником, а други пар (напонски прикључци) паралелно са пријемником. Скретање односно показивање је сразмерно производу напона и струје.

Ознака ватметра на шемама и начин прикључивања, приказан је на слици 7.



Слика 7.

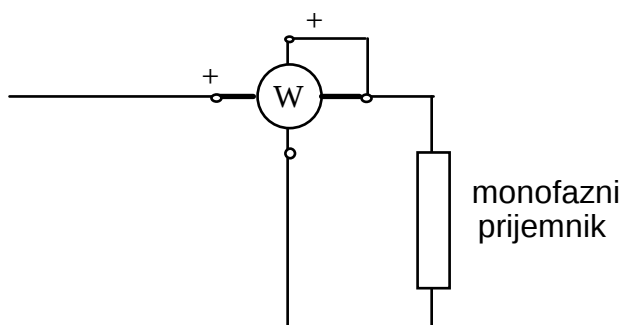
2. ОСНОВНА МЕРЕЊА У МРЕЖАМА СА ПРОСТОПЕРИОДИЧНИМ СТРУЈАМА

Код простопериодичних величина најчешће се мери ефективна вредност (или амплитуда), понекад почетна фаза, фреквенција, снага (средња или активна), а код великих реактивних пријемника и реактивна снага. Такође се мери и импеданса. За мерење импедансе на нижим учестаностима (до неколико десетина МНz) користе се мостови, слично Витстоновом мосту код временски константних струја.

Инструменти за мерење напона и интензитета простопериодичне струје мере ефективну вредност. За то се најчешће користе универзални инструменти, а преклопником се бира врста мерене величине.

2.1. Мерење активне снаге ватметром

Начин прикључивања ватметра приказан је на слици 8. Што се тиче начина везивања прикључака важе напомене дате код мерења снаге временски константне струје. "+" означава референтне крајеве ватметра. Прикључивање треба обавити у складу са усклађеним референтним смеровима струје и напона пријемника.

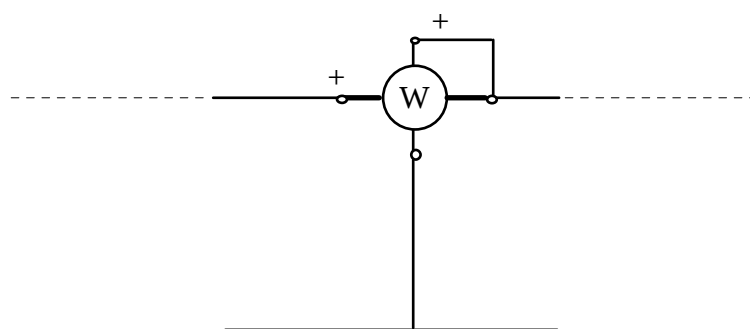


Слика 8.

Код простопериодичних струја покретни калем код инструмената са калемовима не може да прати промене напона и струје (због инерције), па је угао скретања казальке сразмеран средњој вредности производа тренутних вредности напона и струје, а то је средња или активна снага P , као што је на предавањима показано.

2.2. Одређивање смера кретања електричне енергије

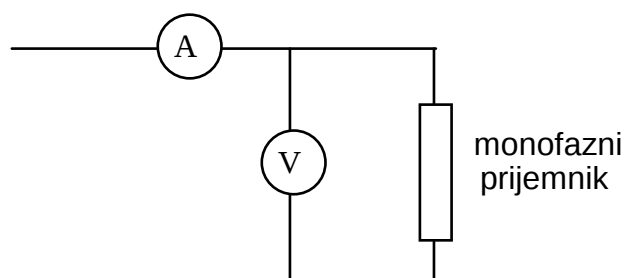
Шема везивања ватметра на слици 8. омогућује и одређивање смера кретања електричне енергије односно места где се налази пријемник на воду, ако то није познато, слика 9. Наиме, ако ватметар показује да је снага позитивна (а везан је у складу са усклађеним референтним смеровима за напон и струју пријемника), пријемник је десно и обрнуто.



Слика 9.

2.3. Мерење привидне снаге

Мерење привидне снаге може се обавити мерењем ефективне вредности напона и струје волтметром и амперметром, респективно, као на слици 10.



Слика 10.

Привидна снага се затим израчуна релацијом

$$S = U \cdot I$$

Постоје и посебни инструменти за мерење привидне снаге, слични ватметру, али се подешава да фазна разлика струје у два калема буде $\pi/2$.

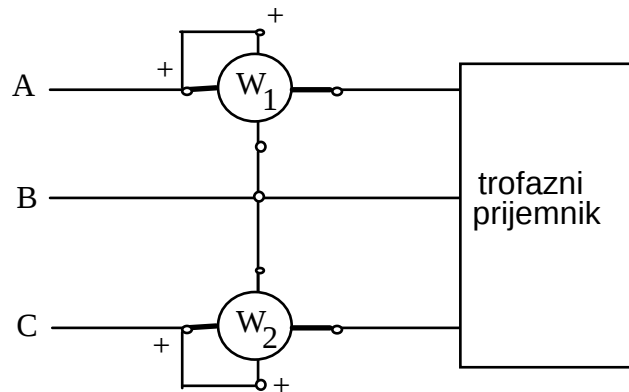
2.4. Мерење фактора снаге

Постоје посебни инструменти за мерење фактора снаге, а одређивање фактора снаге се може обавити и мерењем ефективних вредности напона и струје волтметром и амперметром, а активне снаге ватметром. а затим фактор снаге израчунати према релацији

$$\cos \Phi = \frac{P}{S} = \frac{P}{U \cdot I}$$

2.5. Мерење активне снаге трофазног пријемника

Могуће је истовремено обавити помоћу два ватметра, везаним као на слици 11.



Слика 11.

Укупна снага трофазног пријемника једнака је збиру снага које показују оба ватметра. Студенти треба за домаћи рад да докажу ову тврдњу аналитички.