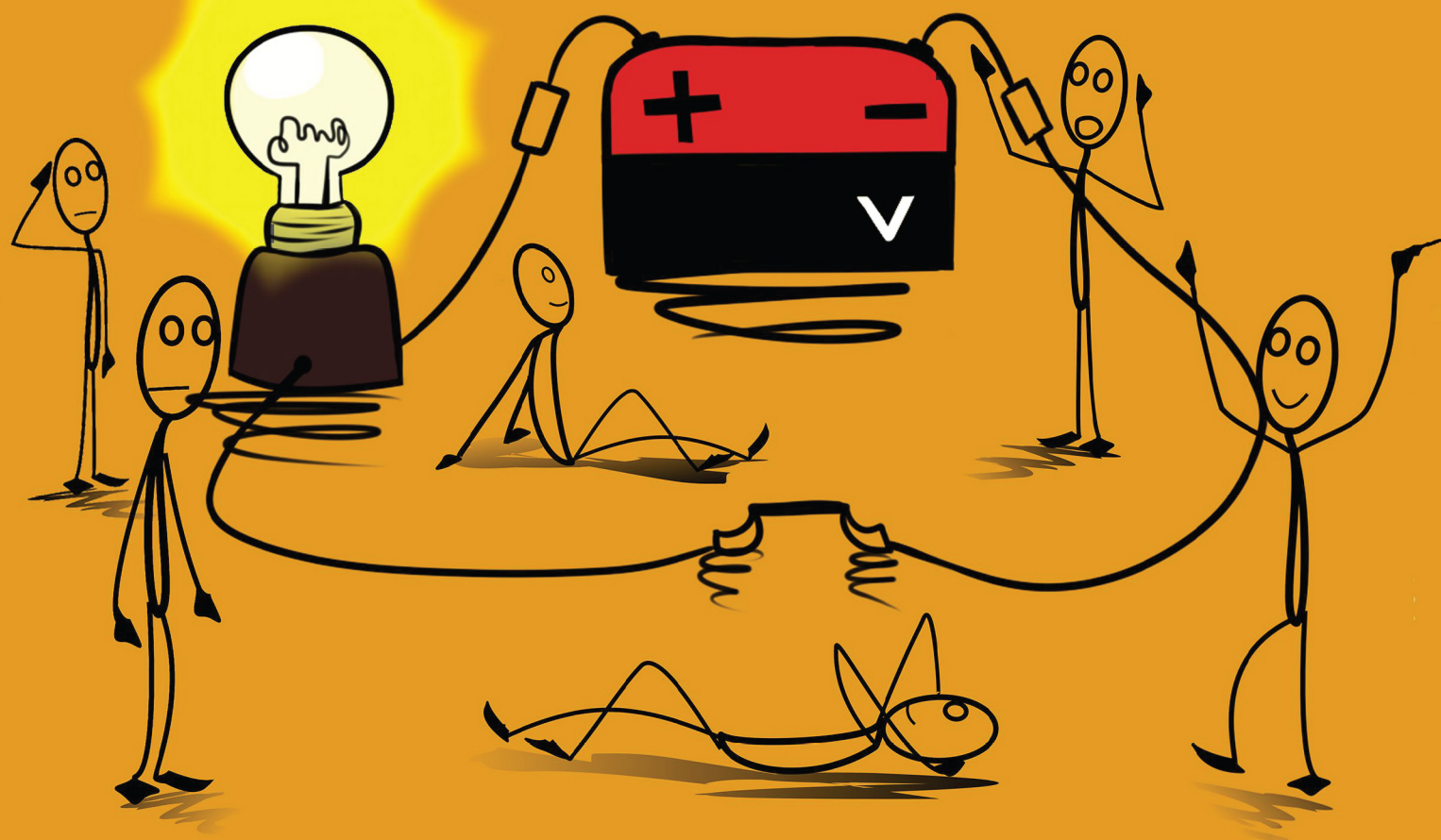


Јасна Домазетовска
Светлана Николовска

Електротехника

Електротехничка струка 1 година



Јасна Домазетовска
Светлана Николовска

ЕЛЕКТРОТЕХНИКА

I ГОДИНА

Скопје
2021

Рецензенти:

проф. д-р Александар Ристески, дипл. елек. инж., Факултет за електротехника и информациски технологии Скопје

Катерина Малова Младеновска, дипл. елек. инж., СУГС „Владо Тасевски“ - Скопје

Гордана Мулева, дипл. елек. инж., ССОУ „Коле Неделковски“ - Велес

Наслов на учебникот: ЕЛЕКТРОТЕХНИКА за 1 (прва) година

Сектор/струк: ЕЛЕКТРОТЕХНИКА / ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКА

Квалификации/образовни профили:

електротехничар за електроника и телекомуникации

електротехничар/енергетичар

електротехничар за компјутерска техника и автоматика

Автори: Јасна Домазетовска, дипл. елек. инж.

Светлана Николовска, дипл. елек. инж.

Стручен соработник: Слободан Таневски, дипл. елек. инж.,

Лектор: Елена Саздовска

Стручна редакција: проф. д-р Еип Руфати

Графичко и техничко уредување: Арбериа Десигн - Тетово (Куштрим Арифи)

Компјутерска изработка и дизајн на корица: Каја Домазетовска

Издавач: МИНИСТЕРСТВО ЗА ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА НА РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА

Со одлука на Националната комисија за учебници за основно и средно образование при Министерството за образование и наука на Република Северна Македонија, со дел. бр. 26-501/1 од 02.07.2021 година, се одобрува употребата на овој учебник

CIP - Каталогизација во публикација

Национална и универзитетска библиотека "Св. Климент Охридски", Скопје

621.3(075.3)

ДОМАЗЕТОВСКА, Јасна

Електротехника [Електронски извор]: 1 година / [автори Јасна Домазетовска, Светлана Николовска]. - Скопје: Министерство за образование и наука на Република Северна Македонија, 2022

Начин на пристапување (URL): <https://www.e-ucebnici.mon.gov.mk>. - Текст во PDF формат, содржи 185 стр., илустр. - Наслов преземен од екранот. - Опис на изворот на ден 10.02.2022

ISBN 978-608-273-026-4

1. Николовска, Светлана [автор]

COBISS.MK-ID 56340485

ПРЕДГОВОР

Овој учебник е изработен според наставната програма одобрена од МОН, наменета за ученици од I година електротехничка струка, за учениците во средно стручно образование со четиригодишно траење. Кредитната вредност на оваа наставна програма изнесува 9 кредити.

Наменета е за 3 часа теоретска настава и 1 час практична настава (вежби) на неделно ниво. Поради тоа, учебникот е поделен во две целини. Првата целина е за теоретските 3 часа неделно (108 часа на годишно ниво) и е концептиран во 4 модули (области во електротехниката). Вториот дел предвидува секоја вежба да се реализира во два часа, со што се опфаќаат сите содржини од наставната програма. Пред секоја вежба дадени се насоки во врска со нејзината реализација. За секоја вежба понуден е елаборат (техничко-технолошка документација), во која ученикот ги бележи резултатите од експериментирањето, мерењата и наведува сопствени согледувања и заклучоци. Во прилог се дадени фотографии и други дополнителни материјали за учениците кои сакаат да научат повеќе.

Терминологијата, ознаките на величините се усогласени со Факултетот за електротехника и информациски технологии (ФЕИТ Скопје). Сите единици мерки се според меѓународниот Si систем (МКС).

Авторите настојуваа едноставно, попристапно и практично употребливо, со објаснувања од физиката, да ја приближат и да ја објаснат електротехниката. Математичкиот модел користен во овој учебник служи за да се поткрепат искажаните појави и тие квантитативно да се опишат. Учебникот содржи повеќе од 170 задачи, кои се зададени на крајот од лекциите и нивната тежинска вредност се движи секогаш од едноставни кон посложени (за овие задачи некогаш се дадени и решени примери со цел истите да послужат како насока во решавањето). Задачите кај кои не е понудено решение се наменети за посебно надарени ученици, со цел да им се прошират видиците и тие да се поттикнат на посложено и поразлично размислување.

Авторите им се благодарат на рецензентите, со чии забелешки и сугестии се подобри квалитетот на овој учебник. Им се благодариме и на нашите соработници: Слободан Таневски, Анета Михајловска и Симона Петрушевска, за нивните идеи, насоки и пожртвуваност со цел да се добие колку што е можно попристапен и подобар учебник.

Можни се и некои пропусти, кои се обидовме да ги сведеме на минимум, и со благодарност ќе ги прифатиме сите добронамерни укажувања што ќе водат кон отстранување на можните недостатоци.

Авторите

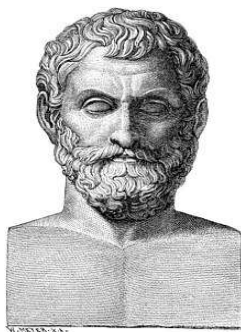
Целите на наставната програма по Електротехника се учениците да стекнат знаење, вештини и компетенции за:

- Разликување електрични од неелектрични големини;
- Примена на основни елементи во електрични кола;
- Примена на основни закони во електротехниката;
- Решавање и работење на електрични кола со еднонасочна и со наизменична струја;
- Презентирање на знаењето за магнетно поле и за електромагнетна индукција;
- Мерење на основни електрични големини;
- Користење заштитни мерки при работа;
- Користење на техничко-технолошка документација;
- Користење на теоретските знаења во практична примена.

ЕЛЕКТРОТЕХНИКА ПРЕКУ ИСТОРИЈА

Како резултат на проучувањето на електрицитетот, се појавила и се развила научната гранка **електростатика**. Појавите поврзани со електрицитетот и неговите дејствија се проучуваат и се развиваат секојдневно, и се искористуваат во практичната примена.

Во времето пред нашата ера, некои електрични појави биле забележани од тогашните филозофи-научници, се разбира, без да се умее и да се објасни појавата. Талес увидел дека ако килибарот се протрие со крпа, тој добива својства да привлече некои ситни предмети.

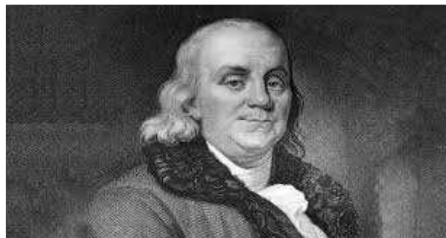


Талес, филозоф-научник, бил еден од „седумте мудреци“ на антиката

Грчкото име за килибар е електрон, оттаму е добиено и името за оваа наука **ЕЛЕКТРОТЕХНИКА**.

Првите толкувања за електрицитетот се дека тој е гас, односно течност без тежина, таканаречен флуид. Гасот се наоѓа во просторот околу проучуваниот (наелектризиран) предмет и појавите со коишто се манифестира дејствуваат во просторот исполнет со тој гас, односно флуид. Се сметало дека околу едно тело постојат два вида на флуиди со еднаков интензитет. Кога телото е ненаелектризирано, флуидите се еднакви и не се

чувствува нивното влијание, а доколку некој од флуидите се намали, односно дејството на другиот флуид е доминантно, станува збор за наелектризирано тело. На овој начин, без да бидат свесни за градбата на атомот и неговите карактеристики, филозофите-научници го објасниле позитивниот и негативниот електрицитет.



Бенџамин Френклин бил застапник на теоријата за флуид околу наелектризираните тела; пронаоѓач е на громобранот

Старите Грци знаеле за природниот магнетизам, а со тоа и за некои магнетни својства кои, според современите сознанија, се последица на електрицитетот.

Развитокот на овие гранки се случил во XIX век, како и нивното класифицирање како делови од физиката. Откритијата, како и нивното меѓусебно поврзување, се обединети во една целина наречена ЕЛЕКТРОТЕХНИКА. Научниците кои имаат најголемо влијание се:



Андре Мари Ампер, основоположник на електродинамиката, ги поставил основите на магнетизмот



Џејмс Кларк Максвел, ги обединил електричните и магнетните полиња во едно, како бранови кои се движат со брзина на светлината; тој ја прикажал првата фотографија во боја



Мајкл Фарадеј, ја проучувал појавата на магнетно поле околу спроводник низ којшто тече електрична струја. Се смета за еден од најдобрите експериментални научници и го открил бензинот



Хајнрих Рудолф Херц, го докажал постоењето на електромагнетните бранови и ја одредил нивната брзина, која е еднаква со брзината на светлината. Имал чувство за јазици, па ги изучувал арапскиот и санскритскиот јазик



Никола Тесла ја проучувал наизменичната струја, како и радиопреносот. Бил екологист, затоа и ги проучувал обновливите извори на енергија

СОДРЖИНА

1.	ЕЛЕКТРОСТАТИКА	11
1.1	ГРАДБА НА МАТЕРИЈАТА	11
	ЕЛЕКТРИЦИТЕТ, ЕЛЕКТРИЧНИ СВОЈСТВА И НАЕЛЕКТРИЗИРАНИ ТЕЛА	12
	КОЛИЧЕСТВО ЕЛЕКТРИЧЕСТВО	13
1.2	КУЛОНОВ ЗАКОН	14
	СКАЛАРНИ, ВЕКТОРСКИ ВЕЛИЧИНИ И ПРЕФИКСИ	14
	ЕЛЕКТРОСТАТИЧКА СИЛА – КУЛОНОВ ЗАКОН	15
1.3	ЕЛЕКТРОСТАТИЧКО ПОЛЕ И ДИЕЛЕКТРИЧНА КОНСТАНТА	21
	ЕЛЕКТРОСТАТИЧКО ПОЛЕ И НЕГОВИТЕ ОСОБЕНОСТИ	21
	ЕЛЕКТРОСТАТИЧКО ПОЛЕ ОД ГОЛЕМА РАМНА ПЛОЧА	25
	РЕЛАТИВНА И АПСОЛУТНА ДИЕЛЕКТРИЧНА КОНСТАНТА	27
1.4	ЕЛЕКТРИЧЕН ПОТЕНЦИЈАЛ, НАПОН И ЕНЕРГИЈА	29
	ЕЛЕКТРИЧЕН ПОТЕНЦИЈАЛ	29
	ЕЛЕКТРИЧЕН НАПОН	31
	ЕКВИПОТЕНЦИЈАЛНИ ПОВРШНИНИ	32
	ЕНЕРГИЈА НА ЕЛЕКТРОСТАТИЧКО ПОЛЕ	33
1.5	КОНДЕНЗАТОР	33
	ЕЛЕКТРИЧЕН КОНДЕНЗАТОР	33
	КАПАЦИТИВНОСТ НА КОНДЕНЗАТОР	34
	ВИДОВИ КОНДЕНЗАТОРИ	36
	ПАРАЛЕЛНО ПОВРЗАНИ КОНДЕНЗАТОРИ	37
	СЕРИСКИ ПОВРЗАНИ КОНДЕНЗАТОРИ	38
	КОМБИНИРАНО ПОВРЗАНИ КОНДЕНЗАТОРИ	39
2.	ПОСТОЈАНИ СТРУИ	43
2.1	ОСНОВНИ ПОИМИ, КАРАКТЕРИСТИКИ И ЗАКОНИ КАЈ ПОСТОЈАНИТЕ СТРУИ	43
	ЈАЧИНА НА ПОСТОЈАНА СТРУЈА	43
	ИЗВОР НА ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА	43
	ЗАТВОРЕНО СТРУЈНО КОЛО И НЕГОВИ ЕЛЕМЕНТИ	44
	ОМОВ ЗАКОН	46
2.2	ПОВРЗУВАЊЕ НА ОТПОРНИЦИ	46
	СЕРИСКИ ПОВРЗАНИ ОТПОРНИЦИ	47
	ПАРАЛЕЛНО ПОВРЗАНИ ОТПОРНИЦИ	49
	КОМБИНИРАНО ПОВРЗАНИ ОТПОРНИЦИ	51
2.3	ПРОСТО СТРУЈНО КОЛО СО ПОСТОЈАНА СТРУЈА	53
	ПРЕСМЕТУВАЊЕ НА ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА ВО ПРОСТО КОЛО	53
	ПРЕСМЕТУВАЊЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕН НАПОН ПОМЕЃУ ДВЕ ТОЧКИ ВО ПРОСТО СТРУЈНО КОЛО	54

ЦУЛОВ ЗАКОН.....	56
2.4 РЕШАВАЊЕ НА СЛОЖЕНО СТРУЈНО КОЛО СО ПОСТОЈАНА СТРУЈА, СО ПРИМЕНА НА КИРХОФОВИТЕ ЗАКОНИ.....	58
СЛОЖЕНО СТРУЈНО КОЛО	58
ПРВ КИРХОФОВ ЗАКОН	59
ВТОР КИРХОФОВ ЗАКОН.....	60
ПРИМЕНА НА КИРХОФОВИТЕ ЗАКОНИ ВО РЕШАВАЊЕТО НА СЛОЖЕНИ СТРУЈНИ КОЛА	61
2.5 РЕШАВАЊЕ НА СЛОЖЕНО СТРУЈНО КОЛО СО ПОСТОЈАНА СТРУЈА.....	64
СЕРИСКИ ПОВРЗАНИ НАПОНСКИ ГЕНЕРАТОРИ	64
ПАРАЛЕЛНО ПОВРЗАНИ НАПОНСКИ ГЕНЕРАТОРИ.....	65
СТРУЕН ДЕЛИТЕЛ.....	66
2.6 МЕТОД НА СУПЕРПОЗИЦИЈА	67
2.7 ТЕВЕНЕНОВА ТЕОРЕМА.....	69
3. МАГНЕТНИ ВЛИЈАНИЈА	73
3.1 МАГНЕТНА ИНДУКЦИЈА, ПЕРМЕАБИЛНОСТ И ЕЛЕКТРОМАГНЕТ	73
ВЕКТОР НА МАГНЕТНА ИНДУКЦИЈА ВО БЛИЗИНА НА ТЕНОК ПРАВ СПРОВОДНИК НИЗ КОЈ ТЕЧЕ СТРУЈА	73
ВЕКТОР НА МАГНЕТНА ИНДУКЦИЈА ОД НАМОТКА НИЗ КОЈА ТЕЧЕ СТРУЈА	75
МАГНЕТНА ПЕРМЕАБИЛНОСТ, РЕЛАТИВНА МАГНЕТНА ПЕРМЕАБИЛНОСТ	76
3.2 ПОВРЗАНОСТ МЕЃУ ЕЛЕКТРИЧНИТЕ И МАГНЕТНИТЕ ВЕЛИЧИНИ	78
МАГНЕТЕН ФЛУКС	78
ЈАЧИНА НА МАГНЕТНО ПОЛЕ	80
ЕЛЕКТРОМАГНЕТНА СИЛА	81
3.3 ИНДУЦИРАНА ЕЛЕКТРОМОТОРНА СИЛА И ИНДУКЦИЈА	83
ИНДУЦИРАНА ЕЛЕКТРОМОТОРНА СИЛА	83
ЛЕНЦОВ ЗАКОН	83
СТАТИЧКА ИНДУЦИРАНА ЕЛЕКТРОМОТОРНА СИЛА.....	84
ДИНАМИЧКА ИНДУЦИРАНА ЕЛЕКТРОМОТОРНА СИЛА.....	84
ИНДУЦИРАНА ЕЛЕКТРОМОТОРНА СИЛА НА САМОИНДУКЦИЈА И МЕЃУСЕБНА ИНДУКЦИЈА.....	85
3.4 ИНДУКТИВНОСТ И ЕНЕРГИЈА.....	86
КОЕФИЦИЕНТ НА СОПСТВЕНА ИНДУКТИВНОСТ	86
КОЕФИЦИЕНТ НА МЕЃУСЕБНА ИНДУКТИВНОСТ	87
3.5 ЕЛЕКТРОМАГНЕТНА ЕНЕРГИЈА	89
4. НАИЗМЕНИЧНИ СТРУИ	91
4.1 НАИЗМЕНИЧНИ ВЕЛИЧИНИ, НИВНИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ И ФАЗОРИ	91
МОМЕНТАЛНА ВРЕДНОСТ НА НАИЗМЕНИЧНАТА ВЕЛИЧИНА.....	91
КАРАКТЕРИСТИКИ НА НАИЗМЕНИЧНИ ВЕЛИЧИНИ	92
ЕФЕКТИВНА ВРЕДНОСТ	95

ФАЗОРИ И ФАЗНИ РАЗЛИКИ	97
4.2 ОМСКИ ОТПОР ВО КОЛО СО НАИЗМЕНИЧНА СТРУЈА	100
АКТИВНА МОЌНОСТ.....	101
4.3 ИДЕАЛЕН КАЛЕМ ВО КОЛО СО НАИЗМЕНИЧНА СТРУЈА	103
РЕАКТИВНА МОЌНОСТ НА КАЛЕМ	104
4.4 ИДЕАЛЕН КОНДЕНЗАТОР ВО КОЛО СО НАИЗМЕНИЧНА СТРУЈА	106
РЕАКТИВНА МОЌНОСТ НА КОНДЕНЗАТОР	107
4.5 СЕРИСКА ВРСКА НА ОТПОРНИК, КАЛЕМ И КОНДЕНЗАТОР.....	108
СЕРИСКА ВРСКА НА ОТПОРНИК И КАЛЕМ.....	108
СЕРИСКА ВРСКА НА ОТПОРНИК И КОНДЕНЗАТОР.....	111
СЕРИСКА ВРСКА НА ОТПОРНИК, КАЛЕМ И КОНДЕНЗАТОР.....	113
4.6 ПАРАЛЕЛНА ВРСКА НА ОТПОРНИК, КАЛЕМ И КОНДЕНЗАТОР	115
ПАРАЛЕЛНА ВРСКА НА ОТПОРНИК И КАЛЕМ	115
ПАРАЛЕЛНА ВРСКА НА ОТПОРНИК И КОНДЕНЗАТОР	118
ПАРАЛЕЛНА ВРСКА НА ОТПОРНИК, КАЛЕМ И КОНДЕНЗАТОР	120
ПОПРАВКА НА ФАКТОР НА МОЌНОСТ.....	121
Користена литература:	123
Табела на електрични величини, нивно означување и основни единици мерки:.....	124

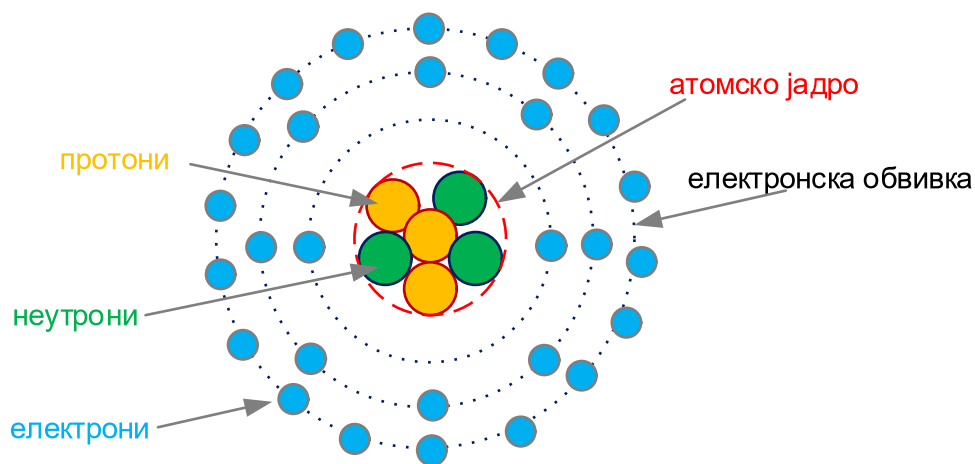
1. ЕЛЕКТРОСТАТИКА

1.1 ГРАДБА НА МАТЕРИЈАТА

Како што претходно напоменавме, првите сознанија за електрицитетот биле поврзани со појавата на некаков флуид, односно два еднакви флуида околу едно тело. Ова сознание подоцна добило и свое научно објаснување, кое е резултат на сознанијата за градбата на атомот, односно сознанието за постоењето на два електрицитета, позитивен и негативен електрицитет.

Секој елемент или соединение во природата се составени од атом или атоми групирани во молекули. Атомот се смета за основен елемент од којшто е составена материјата. Филозофот-научник Демокрит сметал дека секоја материја може да се дели на мали делови, тие делови на помали делови и тој процес продолжува сè додека не се дојде до најмалиот **неделив** дел кој е неуништив и непроменлив. Бидејќи тој дел понатаму е неделив, го добил името атом. Значењето на зборот атом е од грчкиот збор атомос, кој значи неделив.

Атомот има градба, која ја објаснил Нилсон Бор. Боровиот атомски модел многу ги потсетувал учените луѓе на Сончевиот систем и затоа овој модел го носи името планетарен модел на атомот.



1.1 Боров атомски модел на атом (планетарен модел)

Градбата на атомот е од два дела:

- атомско јадро
- електронска обвивка

Атомското јадро се наоѓа во центарот на Сончевиот систем, на местото на нашата звезда Сонце, додека електронската обвивка се патеките по коишто планетите од нашиот систем се вртат околу Сонцето.

Во атомското јадро се наоѓаат двете елементарни честички, протони и неутрони, заеднички наречени нуклеони. Силите кои ги држат нуклеоните во јадрото се нарекуваат нуклеарни сили. Третата елементарна честичка се електроните и тие се распоредени во електронската обвивка. Патеците по коишто се движат електроните се нарекуваат орбити.

Основни карактеристики на елементарните честички

- ❖ Во однос на масата:
 - протоните и неутроните имаат речиси иста маса;
 - масата на протонот е $1,672 \cdot 10^{-27} \text{kg}$;
 - масата на неутронот е $1,674 \cdot 10^{-27} \text{kg}$;
 - масата на електронот е речиси 2000 пати помала од масата на нуклеоните; поточно масата е 1840 пати помала и изнесува $0,0009107 \cdot 10^{-27} \text{kg}$;
 - речиси целата маса на еден атом е определена од бројот на протоните и неутроните во атомското јадро;
- ❖ Во однос на наелектризираноста на елементарните честички:
 - неутронот е ненаелектризиран, тој е неутрален;
 - протонот е наелектризиран, тој е позитивно наелектризиран;
 - електронот е наелектризиран, тој е негативно наелектризиран;
 - бројот на електрони и протони во еден атом е еднаков, затоа атомот не е наелектризиран, односно е неутрален.

Планетите во Сончевиот систем се движат по свои патеки, а во исто време се вртат и околу своите оски. Електроните ја имаат истата особина, односно секој електрон се движи по својата орбита околу атомското јадро, а истовремено и ротира околу својата оска. Таа ротација се нарекува спин на електронот.

Електронската обвивка не е рамномерно пополнета со електронски орбити, туку тие се поделени во групи. Првата група (се наоѓа најблиску до атомското јадро) опфаќа 2 орбити. Втората група има 8 орбити, третата 18 итн. Групите секогаш се пополнуваат по ред, од првата кон втората, без прескокнување на некоја група. Последната пополнета група, односно електроните во оваа група се нарекуваат **валентни електрони**. Бројот на валентни електрони ги одредува електричните својства на материјалите и на овој начин, материјалите во електротехниката се делат на три големи групи: спроводници, полупроводници и изолатори.

ЕЛЕКТРИЦИТЕТ, ЕЛЕКТРИЧНИ СВОЈСТВА И НАЕЛЕКТРИЗИРАНИ ТЕЛА

Електроните се носители на негативен, а пак протоните на позитивен електрицитет. Количеството електрицитет што го содржи една елементарна честичка се нарекува електричен полнеж, кој е еднаков кај електронот и протонот. Ова количество електричество е најмало во природата и се нарекува елементарен полнеж. Секој атом има подеднаков број електрони и протони, односно еднакво позитивно и негативно количество електричество, затоа и атомот во нормална состојба претставува електронеутрална честичка.

Кога атомите се ставаат под одредени услови (како што е протривањето на килибарот со крпа, појава што ја видел Талес), бројот на електрони и протони може да се промени и тогаш позитивните и негативните количества електричества не се исти и атомите стануваат позитивно или негативно наелектризирани. Ваквите атоми се нарекуваат **јони**, односно

позитивни и негативни јони. Помеѓу ваквите јони постојат сили: помеѓу разноимените јони (јони со различен полнеж) се појавуваат привлечни сили, а пак помеѓу истоимените јони, силите се одбивни.

Силата што владее помеѓу наелектризираните честички се нарекува **електростатичка сила**. Атомот претставува целина поради дејствувањето на електростатските сили, како и поради некои други сили што владеат во него.

Кога наелектризираните честички се во движење, тогаш помеѓу нив се појавуваат **електромагнетни сили**.

Електротехниката не ги проучува само силите помеѓу јоните (помеѓу два наелектризирани атома), туку ги проучува и влијанијата на множеството јони на други такви множества. Едно вакво множество од јони се нарекува и **наелектризирано тело**.

Наелектризираност на телата може да се постигне на повеќе начини:

- Со триење, кога се тријат две тела од различен материјал, се зголемува температурата на површината на телата. Поради зголемената температура, се менуваат силите што ги држат електроните во рамките на атомот. Некои електрони успеваат да се отргнат од своите атоми (овие сега имаат поголем број на протони од електрони и стануваат позитивни јони) и се поврзуваат со атомите од другиот материјал (овие атоми сега имаат поголем број електрони од протони и стануваат негативни јони). Кога ќе се одвојат телата, секое од нив ќе остане наелектризирано. Ваков пример е кога ќе се протрие килибар со волнена крпа или кога балон ќе се протрие од коса.
- Со допир.

КОЛИЧЕСТВО ЕЛЕКТРИЧЕСТВО

ЕЛЕКТРОСТАТИКА е научна гранка од електротехниката која ги проучува појавите поврзани со неподвижните електрични полнежи, распределба на електрицитетот на телата, меѓусебното влијание на полнежите и физичките процеси што се случуваат во просторот околу нив.

За да се опише степенот на наелектризираност на едно тело, наједноставно е да се искаже бројот на наелектризирани честички, но овој број е огромен и е многу непрактичен. Затоа, за степенот на наелектризираност се користи величината **количество електричество**, која се обележува со Q (понекогаш и со q), а единица мерка е C (кулон).

Еден кулон се дефинира како протекување на струја од 1 ампер во време од 1 секунда, искажана преку основните 7 мерки од SI-системот. Кулонот, всушност, е амперсекунда ($1C = 1A \cdot 1s$).

Постојат два вида електрицитет во природата: позитивен електрицитет, кој ги содржи протоните и негативен електрицитет, кој ги содржи електроните. Телото што содржи поголем број протони од електрони е позитивно наелектризирано, а телото што има поголем број електрони од протони е негативно наелектризирано.

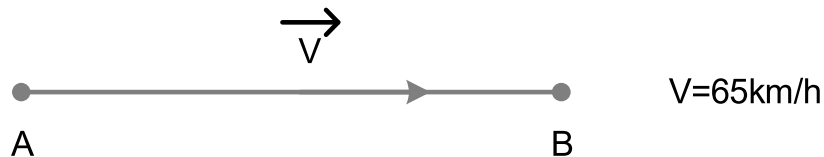
Количеството електричество кај електронот и протонот е еднакво и тоа изнесува:

$$Q = 0,160206 \cdot 10^{-18} [C]$$

1.2 КУЛОНОВ ЗАКОН

СКАЛАРНИ, ВЕКТОРСКИ ВЕЛИЧИНИ И ПРЕФИКСИ

Електричните појави се запишуваат со скаларни и со векторски физички величини. Скаларна величина е онаа физичка појава што се опишува само со својата бројна вредност, на пример масата на едно тело е 200 g, времето на една појава е 4 s, температурата на воздухот е 23°C и слично. Векторската величина се карактеризира со своја бројна вредност, па честопати за неа се користи и изразот интензитет, но има и правец и насока. На пример, брзината со којашто се движиме е 65 km/h , ова е скаларната величина (интензитет), додека пак, ако нацртаме дека оваа брзина се однесува на насока од А кон В, сме го искажале и векторот на брзината $\vec{V}$.



1.2 Векторски и скаларен приказ на брзина

Величините вообичаено се означуваат на следниот начин:

- Со големи латинични букви се означуваат величини кои се менуваат со текот на набљудувањето;
- Со мали латинични букви се означуваат величини кои се менуваат во зависност од времето;
- Некои особини на материјалите се означуваат со грчки букви;
- Векторските величини се означуваат со стрелка над симболот на величината.

Во секојдневието, многу од величините се помали или поголеми од единицата за мерење. За да се олесни работата со нив, се користат префикси кои ја изразуваат поголемата/помалата вредност на физичката големина од основната мерка. Во основа, ова го намалува бројот на нули што се појавуваат во математичкиот запис на изразената големина. На пример, познато ви е дека 2 km, всушност претставува 2000 m; или е неприлично да кажете дека вашиот хард-диск има 2000000000000 B, туку ја користите попрактичната ознака 2 TB.

Табела на префиксите за искажување поголеми/помали вредности

	Големина	префикс	Ознака
поголеми	$1000000000000 = 10^{12}$	T	тера
	$1000000000 = 10^9$	G	гига
	$1000000 = 10^6$	M	мега
	$1000 = 10^3$	K	кило
основна	$1 = 10^0$	/	
помали	$0,001 = 10^{-3}$	m	мили
	$0,000001 = 10^{-6}$	μ	микро
	$0,000000001 = 10^{-9}$	n	нано
	$0,000000000001 = 10^{-12}$	p	пико

ЕЛЕКТРОСТАТИЧКА СИЛА – КУЛОНОВ ЗАКОН

Помеѓу две тела кои се наелектризирани и се во состојба на мирување, делува електростатичка сила.

Оваа појава ја проучувал францускиот научник Кулон. Тој по експериментален пат, со мерење, утврдил дека со зголемување на растојанието помеѓу полнежите, се намалува интензитетот на силата помеѓу нив, а со зголемување на наелектризираноста на телата, се зголемува и интензитетот на силата помеѓу нив. Силата содржела и величина којашто постојано се јавувала во пресметките, т.н. константа на пропорционалност, чијашто вредност Кулон ја утврдил експериментално, со мерење. Интензитетот на оваа електростатичка сила, неговата скаларна величина, која во чест на човекот што ја проучувал го добила името **Кулонов закон** е:

$$F = \frac{K \cdot Q_1 \cdot Q_2}{r^2} [N] \quad (1.1)$$

F [N – њутни] – електростатичка сила помеѓу две наелектризирани тела

Q_1, Q_2 [C – кулони] – количество електричество со коешто се наелектризирани двете тела

r [m – метри] – растојание помеѓу две наелектризирани тела

$K \left[\frac{N \cdot m^2}{C^2} \right]$ – константа на пропорционалност, чија вредност е:

$$K = 9 \cdot 10^9 \left[\frac{N \cdot m^2}{C^2} \right]$$

Константата K има и свој математички израз, кој е:

$$K = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \left[\frac{N \cdot m^2}{C^2} \right]$$

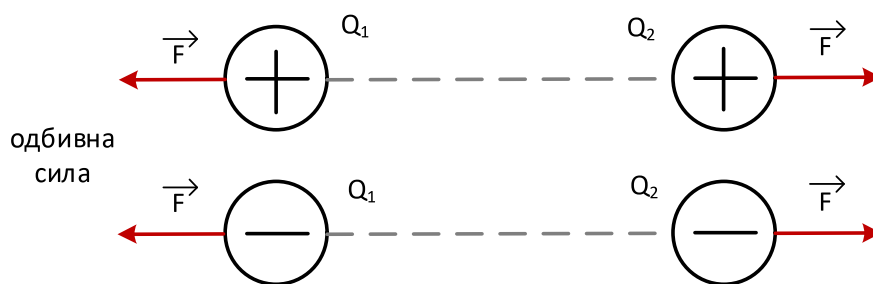
Каде што ϵ_0 се нарекува **диелектрична константа на вакуум**, којашто е иста и за воздух, а нејзината вредност е:

$$\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36 \cdot \pi} = 8,8419413 \cdot 10^{-12} \approx 8,84 \cdot 10^{-12} \left[\frac{F}{m} \right]$$

Кулоновиот закон може да се искаже и на следниот начин: електростатичката сила помеѓу два точкести полнежа е пропорционална со количеството електричество на полнежите, а е обратнопропорционална со квадратот на нивното растојание.

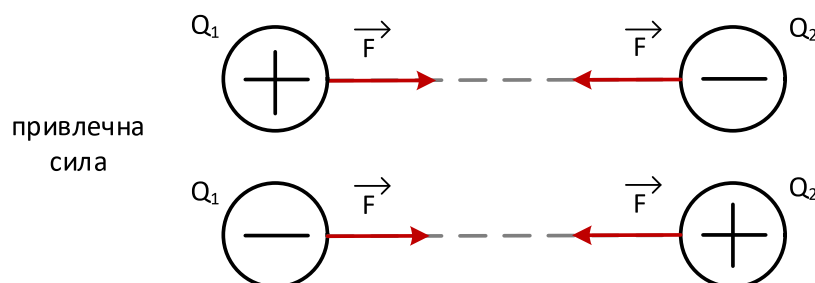
Оваа електростатичка сила, како и секоја сила, има и своја векторска величина којашто искажува дали станува збор за привлечна или одбивна сила. Ако наелектризираните тела имаат многу мали димензии и димензии многу помали од меѓусебното растојание, за овие тела се користи изразот **точкест**, или **пунктуален полнеж**.

Електростатичката сила помеѓу два истоимено наелектризирани точкести полнежа е **ОДБИВНА**:



1.3 Одбивна сила помеѓу точкести полнежи

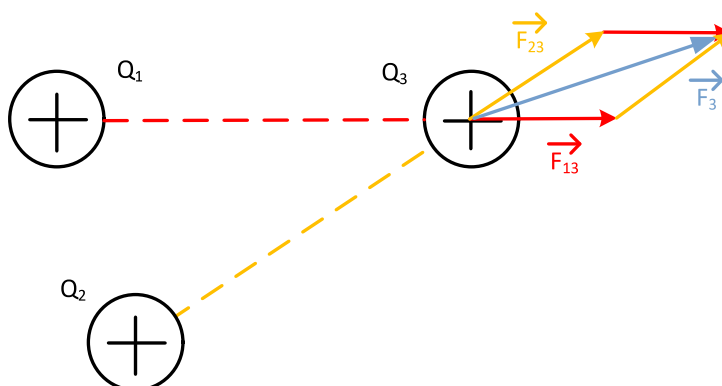
Додека помеѓу два разноимени наелектризирани точкести полнежа е **ПРИВЛЕЧНА**, што е прикажано на сликата:



1.4 Привлечна сила помеѓу точкести полнежи

Електростатичката сила F има правец кој се совпаѓа со правата што ги поврзува полнежите Q_1 и Q_2 , а насоката е налево или надесно, во зависност од карактерот на силата, одбивна или привлечна.

Кулоновата сила што ја предизвикуваат повеќе полнежи претставува векторски збир на поединечните вектори на електростатичката сила. Односно $\vec{F} = \vec{F}_3 = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23}$. На пример, за три пунктуални полнежи, силата со којашто се дејствува на третиот полнеж Q_3 е претставена на сликата:



1.5 Векторски приказ на сила помеѓу три полнежи

ЗАДАЧИ за вежбање:

1. Да се одреди интензитетот и векторот на електростатичката сила помеѓу два пунктуални полнежа кои се истоимено наелектризирани (двата се позитивно наелектризирани) со количество електричество од 10 nC и 20 nC, поставени на меѓусебно растојание од 10 cm.

Решение:

На почетокот на секоја задача, секоја големина **прво мора** да се запише во основната единица мерка:

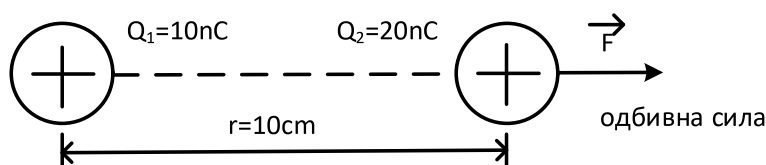
$$Q_1 = 10nC = 10 \cdot 10^{-9}C$$

$$Q_2 = 20nC = 20 \cdot 10^{-9}C$$

$$r = 10cm = 0,1m$$

$$F = \frac{K \cdot Q_1 \cdot Q_2}{r^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 10 \cdot 10^{-9} \cdot 20 \cdot 10^{-9}}{(0,1)^2} = 0,00018N = 180\mu N$$

Одговор:



/ Интензитетот на силата е $180[\mu N]$, а таа е одбивна /

2. Два точкести електрични полнежа наелектризирани со $4\mu C$ и $5\mu C$, поставени се на меѓусебно растојание од 2 dm. Да се пресмета интензитетот и да се одговори каков вид сила дејствува помеѓу овие полнежи.

/ $F = 4,5[N]$; силата е одбивна /

3. На растојание од 5 mm се поставени два точкести полнежа наелектризирани со еднакво количество електричество од $0,025\mu C$, со спротивен знак. Да се одреди интензитетот и видот на електростатичката сила што дејствува помеѓу нив.

/ $F = 225[mN]$; силата е привлечна /

4. Два точкести полнежа се наелектризирани со 0,4 nC и со 0,6 nC и помеѓу нив дејствува сила од $0,6\mu N$. Да се одреди растојанието на коешто се поставени полнежите.

/ $r^2 = 0,036$; $r = 0,06 m = 6[cm]$ /

5. Електростатичката сила што дејствува помеѓу два точкести полнежа, наелектризирани со еднакво количество електричество од $6\mu C$, изнесува 400 mN. Да се пресмета растојанието на коешто се поставени полнежите.

/ $r = 0,9 m = 9[dm]$ /

6. Два точкести полнежа со еднакво количество електричество се поставени на меѓусебно растојание од 8 cm и помеѓу нив дејствува сила од 0,36 mN. Да се определи количеството електричество со коешто се наелектризирани полнежите.

$$/ Q_1 = Q_2 = 0,000000016C = 16[nC] /$$

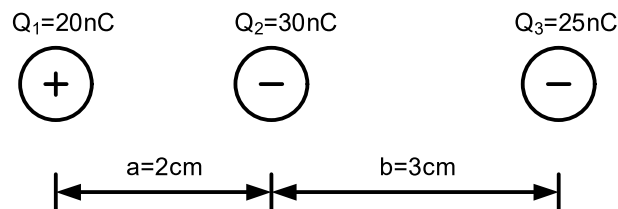
7. Електростатичката сила помеѓу два полнежа изнесува 4N. Тие се поставени на растојание од 3 mm, а првиот полнеж е наелектризиран со количество електричество од 100 nC. Да се определи количеството електричество со којшто е наелектризиран вториот полнеж.

$$/ Q_2 = 0,00000004C = 40[nC] /$$

8. Три точкести полнежи се поставени како на сликата. Пресметај ги интензитетот и векторот на електростатичката сила што дејствува на:

а. полнежот Q_2

б. полнежот Q_3

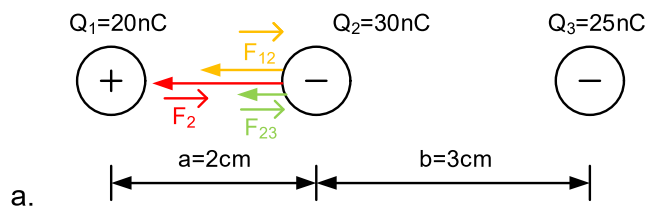


За поедноставување на текстот, честопати ќе се сретне дека знакот на количеството електричество е зададен на самиот цртеж. Тој во пресметките не се зема предвид, но мора да се вметне во цртежот, односно во насоката на векторот.

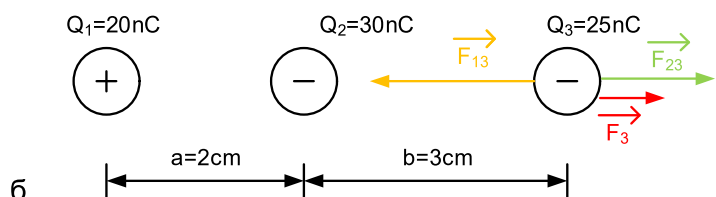
$$F_{12} = F_{21} = \frac{K \cdot Q_1 \cdot Q_2}{r^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 20 \cdot 10^{-9} \cdot 30 \cdot 10^{-9}}{(0,02)^2} = 0,0135N = 13,5mN$$

$$F_{32} = F_{23} = \frac{K \cdot Q_3 \cdot Q_2}{r^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 25 \cdot 10^{-9} \cdot 30 \cdot 10^{-9}}{(0,03)^2} = 0,0075N = 7,5mN$$

$$F_{13} = F_{31} = \frac{K \cdot Q_1 \cdot Q_3}{r^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 20 \cdot 10^{-9} \cdot 25 \cdot 10^{-9}}{(0,02 + 0,03)^2} = 0,0018N = 1,8mN$$

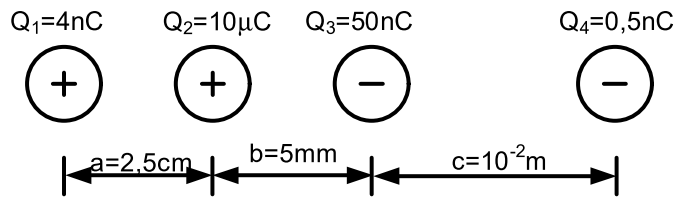


$$/ F_2 = F_{12} + F_{23} = 21[mN] /$$

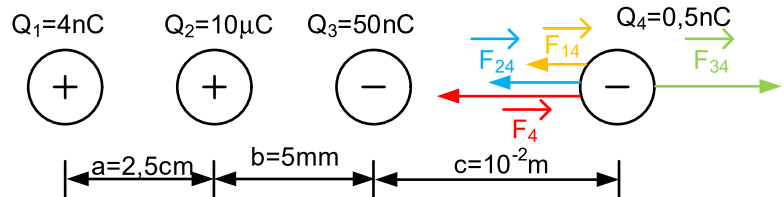


$$/ F_3 = F_{23} - F_{13} = 5,7[mN] /$$

9. Колкава е и како е насочена електростатичката сила што дејствува врз полнежот Q_4 .



/ Решение:



$$F_{14} = \frac{K \cdot Q_1 \cdot Q_4}{r^2} = \frac{K \cdot Q_1 \cdot Q_4}{(a + b + c)^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-9} \cdot 0,5 \cdot 10^{-9}}{(0,04)^2} = 0,00001125\text{N} = 11,25\mu\text{N}$$

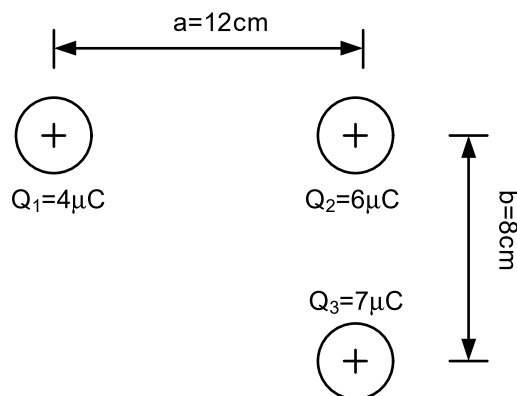
$$F_{24} = \frac{K \cdot Q_2 \cdot Q_4}{r^2} = \frac{K \cdot Q_2 \cdot Q_4}{(b + c)^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 10 \cdot 10^{-9} \cdot 0,5 \cdot 10^{-9}}{(0,015)^2} = 0,0002\text{N} = 200\mu\text{N}$$

$$F_{34} = \frac{K \cdot Q_3 \cdot Q_4}{r^2} = \frac{K \cdot Q_3 \cdot Q_4}{(c)^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 5 \cdot 10^{-9} \cdot 0,5 \cdot 10^{-9}}{(0,01)^2} = 0,000225\text{N} = 225\mu\text{N}$$

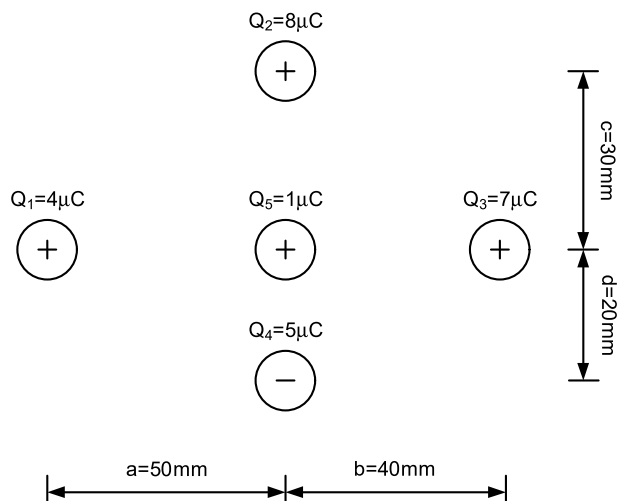
$$F_4 = F_{14} + F_{24} - F_{34} = 11,25 + 200 - 225 = -13,75 \mu\text{N}$$

Минусот е добиен како резултат од нашата претпоставка дека силата F_4 ќе има насока во лево. Ако претпоставевме десна насока, за F_4 ќе се добиеше истиот резултат, но со знак плус, $F_4 = 13,75[\mu\text{N}]$ /

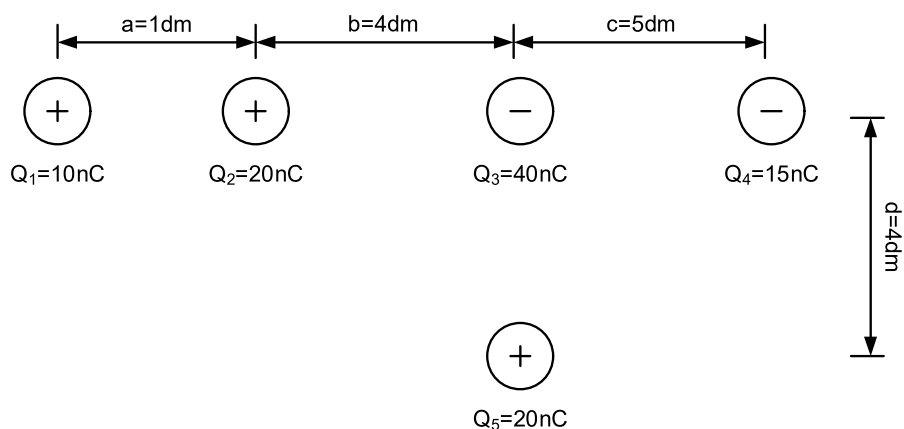
10. Да се определи интензитетот и насоката на силата што дејствува во полнежот Q_2 .



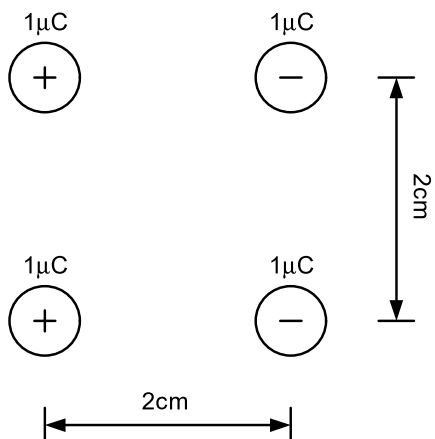
11. Колкава е и како е насочена електростатичката сила што дејствува врз полнежот Q_5 .



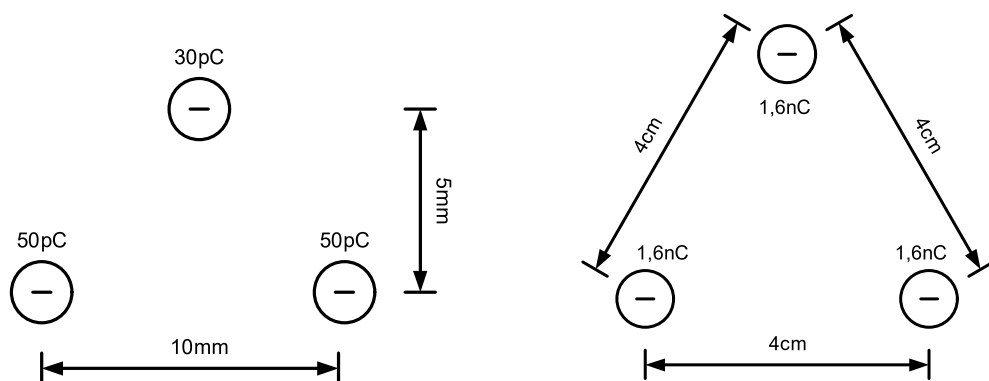
12. Да се определи интензитетот и насоката на силата што дејствува во полнежот Q_3 .



13. Одреди го векторот на електростатичката сила што дејствува врз секој од полнежите.



14. Да се одреди векторот на електростатичката сила што дејствува врз полнежот, во врвот на триаголникот.



15. Топка со радиус 1,5 dm е наелектризирана со количество електричество 27 μC . Од површината на топката, на растојание од 1,2 dm се наоѓа точкест полнеж кој е наелектризиран со количество електричество од 6 nC. Да се определи електростатичката сила со којашто дејствува топката на полнежот.

$$/F = 0,02 \text{ [N]} = 20 \text{ [mN]}/$$

1.3 ЕЛЕКТРОСТАТИЧКО ПОЛЕ И ДИЕЛЕКТРИЧНА КОНСТАНТА

ЕЛЕКТРОСТАТИЧКО ПОЛЕ И НЕГОВИТЕ ОСОБЕНОСТИ

Со првите толкувања за електрицитетот дека тој е гас, односно т.н. флуид кој се наоѓа во просторот околу наелектризираниот предмет и дека појавите со коишто се манифестира дејствуваат во просторот исполнет со тој флуид, филозофите-научници, всушност, го објасниле електричното поле. Современото толкување е дека карактеристиките на просторот околу тело кое е наелектризирано се менуваат. Оваа состојба се забележува со појавата на електростатичка сила кога во овој простор ќе се доведе друго наелектризирано тело. Во просторот околу секое наелектризирано тело постои **електрично поле**. Важи и обратното тврдење, дека во простор во којшто постои електрично поле, тоа е предизвикано од некое наелектризирано тело. Кога наелектризираното тело е во мирување, полето се нарекува **ЕЛЕКТРОСТАТИЧКО ПОЛЕ**.

Дефинирањето дека на електричен полнеж наелектризиран со количество електричество Q , кој е внесен во електростатичко поле E , ќе дејствува електростатичка сила F , математички се запишува:

$$F = E \cdot Q \text{ [N]} \quad (1.2)$$

Тоа значи дека изразот е карактеристичен за електростатичко поле во точка каде што се наоѓа полнежот Q .

$$E = \frac{F}{Q} \left[\frac{V}{m} \right]$$

Според овој израз се пресметува интензитетот на електростатичкото поле, а неговите правец и насока се совпаѓаат со правецот и насоката на електростатичката сила со којашто тој полнеж дејствува на некој позитивно наелектризиран полнеж Q . Одовде се заклучува дека електростатичката сила F и електростатичкото поле E се колинеарни (имаат ист правец и насока).

Да се изврши пресметка на јачината на електростатичкото поле од точкест полнеж наелектризиран со количество електричество Q . Овој полнеж делува со електростатичка сила F на друг полнеж Q_1 , кои се на меѓусебно растојание r . Интензитетот на електростатичката сила (Кулоновата сила) е дефиниран со изразот:

$$F = \frac{K \cdot Q \cdot Q_1}{r^2} [N],$$

Од тука пресметката за интензитетот на електростатичкото поле ќе е:

$$E = \frac{F}{Q_1} = \frac{K \cdot Q \cdot Q_1}{r^2} \cdot \frac{1}{Q_1}$$

И за електростатичкото поле се добива изразот (1.3):

$$E = \frac{K \cdot Q}{r^2} \left[\frac{V}{m} \right] \quad (1.3)$$

$E \left[\frac{V}{m} \right]$ – електростатичко поле од **точкест полнеж**

$Q [C]$ – количество електричество со којшто е наелектризиран точкестиот полнеж

$r [m]$ – растојание на коешто го одредуваме електростатичкото поле

Векторот на електростатичкото поле во насоката и правецот се совпаѓа со векторот на Кулоновата сила што би дејствувала во бараната точка на еден замислен позитивен полнеж во таа точка, а е прикажан на сликата:



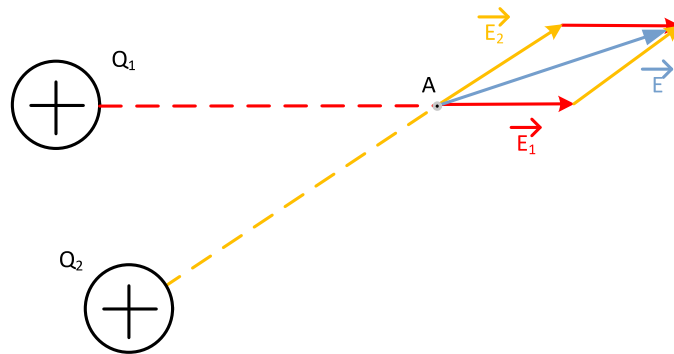
1.6.1 Електростатичко поле од позитивно наелектризиран полнеж



1.6.2 Електростатичко поле од негативно наелектризиран полнеж

Кога имаме дејство на два или повеќе електрични полнежи, тогаш векторот на вкупното поле претставува векторски збир на векторот на секое електростатичко поле поединечно.

Овој принцип е познат како суперпозиција. Едноставен пример за дејството на два полнежа е прикажан на сликава:



1.7 Насока на електростатичко поле од два наелектризирани полнежа, $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$

Кога станува збор за метална топка (сфера), за неа важи дека интензитетот на електростатичкото поле во внатрешноста на топката е нула ($0 \left[\frac{V}{m} \right]$), додека во просторот околу неа, полето го има истиот интензитет како поле од точкест полнеж кој е наелектризиран со истото количество електричество како топката, кој се наоѓа во центарот на топката, а растојанието се мери од центарот на топката.

ЗАДАЧИ за вежбање:

16. Да се одреди интензитетот на електростатичкото поле што дејствува на електричен полнеж кој е наелектризиран со количество електричество од 40 nC, а на него дејствува електростатичка сила од 8 mN.

$$/ E = 200000 \frac{V}{m} = 200 \left[\frac{KV}{m} \right] /$$

17. Да се пресмета интензитетот на електростатичката сила со којашто се дејствува на електричен полнеж кој е наелектризиран со количество електричество од 50 mC, внесен во електростатичко поле со интензитет од $100 \frac{V}{m}$.

$$/ F = 5[N] /$$

18. Да се одреди интензитетот на електростатичкото поле од пунктуален полнеж наелектризиран со $Q = 75 \text{ nC}$, на растојание од 2,5 dm од точкестиот полнеж.

$$/ E = 10800 \frac{V}{m} = 10,8 \left[\frac{KV}{m} \right] /$$

19. Одреди го интензитетот на електростатичкото поле од точкест полнеж, наелектризиран со $Q = 5 \text{ nC}$, на растојание од 3 cm.

$$/ E = 50000 \frac{V}{m} = 50 \left[\frac{KV}{m} \right] /$$

20. Интензитетот на електростатичкото поле создадено од точкест полнеж е $100 \frac{V}{m}$, кое дејствува на растојание од 3 cm. Да се пресмета количеството електричество со коешто е наелектризиран точкестиот полнеж.

$$/ Q = 1 \cdot 10^{-11} = 10 \cdot 10^{-12} = 10[pC] /$$

21. Пресметај го растојанието на коешто точкест полнеж со количество електричество $300 \mu\text{C}$ создава електростатичко поле со интензитет $27 \frac{\text{KV}}{\text{m}}$.

$$/ r^2 = 100; r = 10[\text{m}] /$$

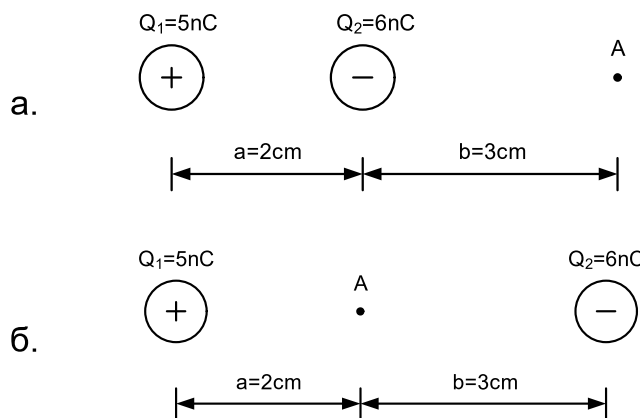
22. Топка со радиус 1 dm е наелектризирана со количество електричество 40 nC . Да се определи интензитетот на електростатичкото поле на растојание:

- а. 4 dm од центарот на топката
б. 4 dm од површината на топката

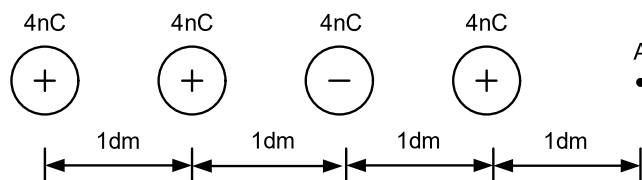
$$/ \text{ а. } E = 2,25 \left[\frac{\text{KV}}{\text{m}} \right]$$

$$\text{ б. } E = 1,44 \left[\frac{\text{KV}}{\text{m}} \right] /$$

23. Два точкести полнежа се поставени како на сликите. Да се одреди интензитетот и да се нацрта векторот на електричното поле во точката А во двата случаја.

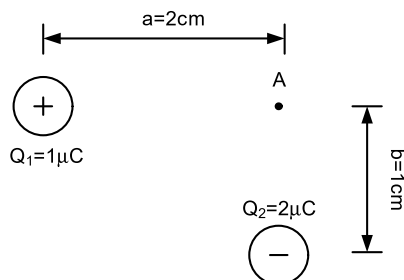


24. Четири точкести полнежи се поставени како на сликата:



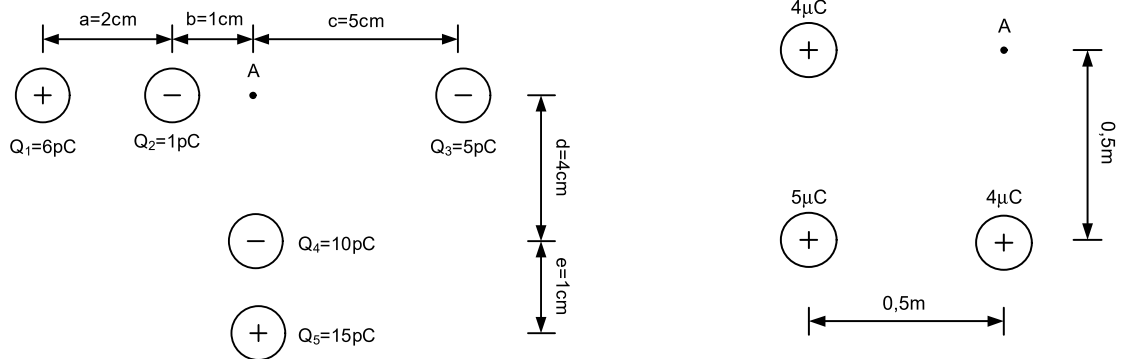
Да се определи електростатичкото поле во точката А (интензитет и вектор).

25. Во темињата на еден правоаголен триаголник, со катети 2 cm и 1 cm , поставени се точкести полнежи наелектризирани со $1 \mu\text{C}$ и $2 \mu\text{C}$, прикажани како на сликата:

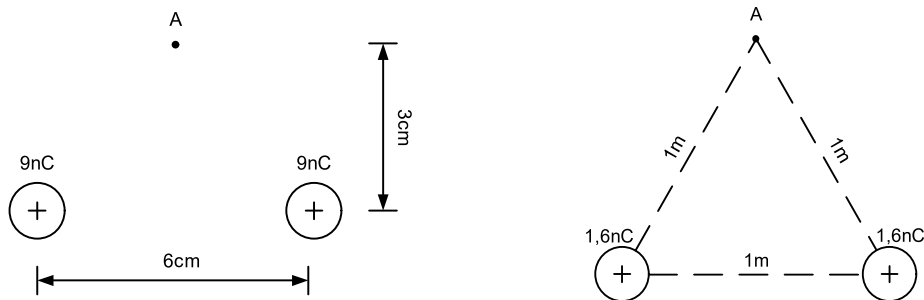


Да се определи векторот и интензитетот на електростатичкото поле во точката А.

26. Да се определи интензитетот и векторот на електростатичкото поле во точката A на секој од системите, прикажани на следниве слики, се решаваат со примена на Питагорова теорема:



27. Да се определи интензитетот и векторот на електростатичкото поле на секој од системите, прикажани на следниве слики, се решаваат со примена на слични триаголници:



ЕЛЕКТРОСТАТИЧКО ПОЛЕ ОД ГОЛЕМА РАМНА ПЛОЧА

Кога се претставува електростатичко поле од голема рамна плоча, тоа треба да се замисли како множество од точки кои ја сочинуваат плочата. Секоја точка претставува еден пунктуален полнеж. Интензитетот на електростатичкото поле од плочата е суперпозиција од полињата на секој пунктуален полнеж. Се разбира, ваквата пресметка е многу сложена, но крајниот резултат е:

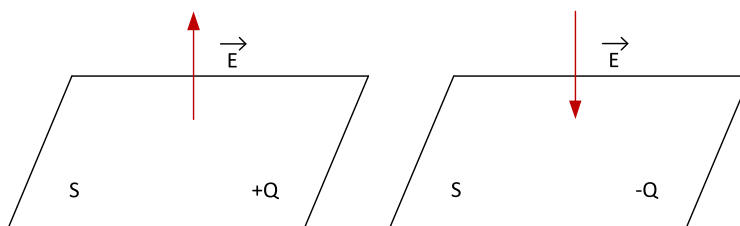
$$E = \frac{Q}{2 \cdot \epsilon_0 \cdot s} \left[\frac{V}{m} \right] \quad (1.4)$$

$E \left[\frac{V}{m} \right]$ – електростатичко поле од **рамна плоча**

$Q [C]$ – количество електричество со коешто е наелектризирана плочата

$s [m^2]$ – плошина на плочата

Правецот на векторот на електростатичкото поле е нормален на плочата, а неговата насока е како насоката на точкестите полнежи, односно води од плочата кон надвор за позитивно наелектризирана плоча и од надвор кон плочата за негативно наелектризирана плоча.

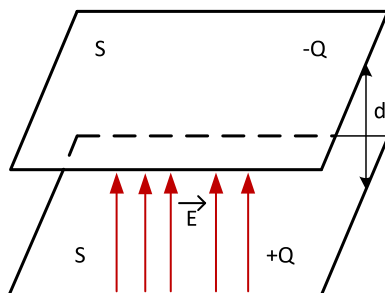


1.8 Електростатичко поле на рамна плоча

Карактеристичен случај е електростатичкото поле помеѓу две плочи со еднаква плоштина s , поставени на меѓусебно мало растојание d , наелектризирани со еднакво количество електричество Q , но со спротивен знак е, во овој случај полето е:

$$E = \frac{Q}{\epsilon_0 \cdot s} \left[\frac{V}{m} \right] \quad (1.5)$$

Неговиот вектор на електростатичко поле има правец и насока како на сликата:



1.9 Електростатичко поле помеѓу две паралелни плочи

Интензитетот на електростатичкото поле од една или од две плочи, во просторот околу нив, не блиску до нивните рабови, е секаде ист. За вакво поле велиме дека е хомогено поле. **Хомогено поле** е поле чијшто вектор на јачина во сите точки од просторот има ист интензитет, правец и насока.

ЗАДАЧИ за вежбање:

28. Пресметај колку изнесува интензитетот на електростатичкото поле од рамна голема плоча, која е наелектризирана со количество електричество од 250 nC, а има плоштина на плочата 2 dm^2 .

$$/ E = 707014 \frac{V}{m} = 707,014 \frac{kV}{m} \approx 707 \left[\frac{kV}{m} \right] /$$

29. Да се пресмета плоштината на рамна плоча, наелектризирана со количество електрицитет $Q = 0,2 \text{ } \mu\text{C}$, ако интензитетот на векторот на јачина на полето што го создава плочата е $E = 60 \frac{kV}{m}$.

$$/ S = 0,189 \text{ [m}^2] /$$

30. Две рамни плочи на растојание $d = 0,1 \text{ mm}$ се наелектризирани со исто, но различно по знак количество електрицитет. Плоштината на плочите е $S = 50 \text{ cm}^2$. интензитетот на векторот на јачина на полето помеѓу двете плочи е $E = 10 \frac{kV}{m}$.

$$/ Q = 4,42 \cdot 10^{-10} \text{ [C]} /$$

РЕЛАТИВНА И АПСОЛУТНА ДИЕЛЕКТРИЧНА КОНСТАНТА

Кога ја дефинираме константата K кај Кулоновиот закон, за ϵ_0 рековме дека претставува константа што во себе ги содржи карактеристиките на вакуумот. Ако просторот околу некој полнеж, плоча или помеѓу две плочи го исполниме со друг материјал (да не е вакуум, односно воздух), се воочува дека вредноста на електростатичкото поле, а со тоа и вредноста на Кулоновата сила се намалува. Степенот на намалување се обележува како ϵ_r , а се нарекува **релативна диелектрична константа** и е бездимензионален број, кој покажува колкупати јачината на електричното поле кај некој материјал е помало од она во вакуумот. Релативната диелектрична константа кај сите материјали во природата е поголема од 1, а за воздухот изнесува $\epsilon_r = 1,00059 \approx 1$. Нејзината вредност кај некои материјали кои почесто се користат во практиката е следна:

Табела на вредности на релативната диелектрична константа на некои материјали:

материјал	ϵ_r	материјал	ϵ_r
бакелит	3,5 – 8,2	поливинилхлорид	3 – 4
воздух	1,00059	Порцелан	4,5 – 6
дестилирана вода	81,07	Прешпан	2,5 – 3,4
кварц	4,3 – 4,7	Гуми	2 – 35
момирок	4 – 8	Стакло	2 Ѕ 16
миканит	4–6	Стирофлекс	2,5
мраз	2–3	трансформаторско масло	2,2–2,5
парафин	1,7–2,3	Тефлон	2,1
пертинакс	4,8–5,4	Хартија	1,8–2,6
плексиглас	2,6–3,4	Челик	2,7–3,8

Соодветно на диелектричната константа на вакуумот, односно воздухот, се дефинира и **апсолутна диелектрична константа** на диелектрикот.

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \left[\frac{F}{m} \right] \quad (1.6)$$

Кај точкест полнеж поставен во диелектрик, Кулоновиот закон е:

$$F = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot r^2} [N]$$

Електростатичкото поле кај точкест полнеж е:

$$E = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot r^2} \left[\frac{V}{m} \right]$$

Електростатичкото поле кај плоча е:

$$E = \frac{Q}{2 \cdot \epsilon \cdot s} \left[\frac{V}{m} \right]$$

Електростатичкото поле помеѓу две плочи е:

$$E = \frac{Q}{\varepsilon \cdot s} \left[\frac{V}{m} \right]$$

Ова поле постои само во просторот помеѓу плочите, додека во просторот околу нив, полето има вредност нула, ($0 \left[\frac{V}{m} \right]$).

ЗАДАЧИ за вежбање:

31. Пресметај колку изнесува интензитетот на електростатичкото поле од рамна голема плоча која е наелектризирана со количество електричество од 250 nC, а има плошина на плочата 2 dm², плочата е поставена во воздух. Потоа плочата се поставена во масло со релативна диелектрична константа 2,3. Спореди ги овие резултати.

$$/ E_{\varepsilon_0} = 706214 \left[\frac{V}{m} \right] = 706 \frac{KV}{m}, \quad E_{\varepsilon_r} = 307049 \left[\frac{V}{m} \right] = 307 \left[\frac{KV}{m} \right] /$$

32. Точкест полнеж наелектризиран со 100 pC се наоѓа во парафин, со релативна диелектрична константа $\varepsilon_r = 2$, на растојание од 10 cm од полнежот. Колкава е јачината на електростатичкото поле?

$$/ E = 45 \left[\frac{V}{m} \right] /$$

33. На кое растојание од точкестиот полнеж кој е наелектризиран со $Q = 50$ nC, поставен во материјал со релативна диелектричка константа $\varepsilon_r = 20$, дејствува електростатичко поле со јачина $E = 3 \frac{KV}{m}$?

$$/ r = 0,086[m] = 8,6[cm] /$$

34. Јачината на електростатичкото поле помеѓу две паралелни плочи е $E = 10,5 \frac{KV}{m}$. Плочите се наелектризирани со $Q = 0,055$ μC и помеѓу нив е поставен материјал со релативна диелектрична константа $\varepsilon_r = 15$. Да се пресмета плоштината s .

$$/ s = 0,035[m^2] /$$

35. Помеѓу две паралелни плочи со плошина $s = 5$ dm², поставен е бакелит со $\varepsilon_r = 7,5$. Јачината на електростатичкото поле е $E = 4 \frac{KV}{m}$. Да се определи количеството електричество со коешто се наелектризирани плочите.

$$/ Q = 0,000000013[C] = 13[nC] /$$

1.4 ЕЛЕКТРИЧЕН ПОТЕНЦИЈАЛ, НАПОН И ЕНЕРГИЈА

ЕЛЕКТРИЧЕН ПОТЕНЦИЈАЛ

Едно наелектризирано тело околу себе создава електростатичко поле. Ако еден точкест полнеж се наоѓа доволно далеку од електростатичкото поле за полето да не влијае на него, за да го внесеме во полето мора да извршиме работа, бидејќи мора да се совлада дејството на електростатичката сила што ќе влијае на него. Тоа значи дека полнежот имал потенцијална енергија во точката во којашто е донесен, во однос на почетната точка. Оваа потенцијална енергија е еднаква со работата потребна да се изврши за поместување на полнежот. Извршената работа **не зависи од патот** по којшто се движел полнежот. Одовде може да се заклучи дека секоја точка во просторот на полето има одредено количество потенцијална енергија во однос на почетната точка. Извршената работа зависи од наелектризираноста на точкестиот полнеж, јачината на полето, како и од оддалеченоста на точката во којашто е донесен полнежот во однос на почетната точка, но не и од патот помеѓу точките. Почетната точка се нарекува референтна точка и за сферни системи најчесто се зема во бесконечност.

Во физиката, работата ја бележиме со голема буква A . Електростатичката сила што се совладува за внесување на полнежот е пропорционална со количеството електричество на полнежот, односно извршената работа е:

$$A = Q \cdot \varphi, \quad \text{односно} \quad \varphi = \frac{A}{Q} [V]$$

$\varphi [V]$ – електричен потенцијал во набљудуваната точка

$Q [C]$ – количество електричество со коешто е наелектризиран точкестиот полнеж

$A [J]$ – извршената работа за преместување на полнежот од една во друга точка

Електричниот потенцијал во некоја точка е бројно еднаков на извршената работа за придвижување на позитивен полнеж од 1 C, од референтна точка до таа точка.

За референтната точка што се наоѓа во бесконечност велиме дека има нулти потенцијал.

Ако имаме позитивно наелектризирано тело, сите негови точки во полето се на **позитивен потенцијал** во однос на референтната точка, а пак сите точки од електростатичкото поле кај негативно наелектризирано тело се на **негативен потенцијал** во однос на референтната точка.

Електричниот потенцијал од точкест полнеж во дадена точка е:

$$\varphi = \frac{A}{Q} [V] \quad (1.7)$$

Знаеме дека извршената работа зависи од совладувањето на Кулоновата сила и од изминатиот пат:

$$A = F \cdot x = F \cdot [r - r(\infty)] = F \cdot r - F \cdot r(\infty) = F \cdot r [J]$$

За точка во бесконечноста напоменавме дека има нулти потенцијал.

Кога наелектризираното тело е точкест полнеж, за него важи:

$$A = F \cdot r = \frac{K \cdot Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \cdot r = \frac{K \cdot Q_1 \cdot Q_2}{r} [J]$$

Полнеж кој го задвижуваме од референтната точка кон дадената точка има количество електричество Q_2 , а за електричниот потенцијал го добиваме изразот:

$$\varphi = \frac{A}{Q} = \frac{1}{Q_2} = \frac{Q}{Q_2} = \frac{\frac{K \cdot Q_1 \cdot Q_2}{r}}{Q_2}$$

$$\varphi = \frac{K \cdot Q_1}{r} [V] \quad (1.8)$$

$\varphi [V]$ – електричен потенцијал во набљудуваната точка

$r [m]$ – растојание од наелектризираното тело до набљудуваната точка

$Q_1 [C]$ – количество електричество на наелектризираното тело (кое е точкест полнеж или сфера)

$A [J]$ – извршената работа за преместување на полнежот Q_2 од референтна точка во дадена точка во полето на наелектризираното тело Q_1

Електричниот потенцијал помеѓу две паралелни, спротивно наелектризирани плочи во точка што се наоѓа на растојание x од негативната плоча е:

$$\varphi = \frac{A}{Q} = \frac{F \cdot x}{Q} = \frac{(E \cdot Q) \cdot x}{Q} = E \cdot x = \frac{Q}{\epsilon_0 \cdot S} \cdot x [V]$$

Одовде се заклучува дека сите точки што се наоѓаат на исто растојание x од негативната плоча имаат ист потенцијал.

ЗАДАЧИ за вежбање:

36. Пресметај го електричниот потенцијал во точка на растојание од 3 mm, кој го создава точкест полнеж наелектризиран со количество електричество од 10 nC.

$$/ E = 30000 = 30 \cdot 10^3 = 30 \left[\frac{kV}{m} \right] /$$

37. Електричниот потенцијал што го создава точкест полнеж на растојание од 4 cm изнесува 9 V. Да се пресмета количеството електричество со коешто е наелектризиран точкестиот полнеж.

$$/ Q = 4 \cdot 10^{-11} = 40 \cdot 10^{-12} = 40 [pC] /$$

38. На кое растојание од наелектризиран точкест полнеж со 8 pC има електричен потенцијал од 40 mV?

$$/ r = 1,8 [m] /$$

39. Со колкаво количество електричество е наелектризирана метална сфера со радиус 0,6 cm, ако потенцијалот на нејзината површина изнесува 30 V?

$$/ Q = 2 \cdot 10^{-11} = 20 \cdot 10^{-12} = 20[pC] /$$

40. Сфера со радиус 5 mm е наелектризирана со 20 pC. Да се пресмета на кое растојание се создава потенцијал од 20 V
а. од центарот на сферата
б. од површината на сферата

$$\begin{aligned} & / \text{ а. } r = 9[mm] \\ & \text{ б. } r = 9-5 = 4[mm] / \end{aligned}$$

ЕЛЕКТРИЧЕН НАПОН

Две различни точки во просторот на електростатичкото поле на едно наелектризирано тело имаат електрични потенцијали φ_1 и φ_2 . Изразот дефиниран со нивната разлика е:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 [V] \quad (1.9)$$

$U [V]$ – електричен напон, $\varphi [V]$ – електричен потенцијал

Електричниот напон помеѓу две точки во електростатичкото поле е еднаков на количникот меѓу вложената работа за пренесување на позитивен електричен полнеж од една до друга точка и количеството електричество на пренесуваниот полнеж.

Разликата помеѓу електричните потенцијали на две точки, наречен електричен напон, **не** зависи од референтната точка. Се зема дека сите точки што лежат на Земјата имаат нулти потенцијал; значи секоја точка што не припаѓа на ова множество точки има електричен потенцијал еднаков со напонот помеѓу таа точка и Земјата.

Напонот помеѓу две паралелни, спротивно наелектризирани плочи е:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \varphi_+ - \varphi_- [V]$$

φ_+ и φ_- се потенцијали на позитивната и негативната плоча

$$\varphi_+ = \frac{Q}{\varepsilon_0 \cdot S} \cdot x [V]$$

Каде што растојанието x , за φ_+ е растојание од позитивната плоча до негативната плоча и изнесува d , односно $x = d$. Растојанието x кај негативната плоча е нула; x е растојание од некоја точка до негативната плоча, што значи дека $\varphi_- = 0[V]$.

$$U = \varphi_+ - \varphi_- = \frac{Q}{\varepsilon_0 \cdot S} \cdot d - 0 = \frac{Q}{\varepsilon_0 \cdot S} \cdot d = E \cdot d [V]$$

ЗАДАЧИ за вежбање:

41. Пресметај колку изнесува напонот помеѓу две точки чишто електрични потенцијали се 17 V и 13 V.

$$/ U = 17 - 13 = 4 [V] /$$

42. Да се пресмета напонот помеѓу две точки кои се на растојание 3 cm и 5 cm од точкест полнеж, наелектризиран со 40 nC.

$$/ U = 12000 - 7200 = 4800 [V] = 4,8 [KV] /$$

43. Две паралелни плочи со плошина од 0,02 m², спротивно наелектризирани со еднакво количество електричество од 50 pC, се поставени на меѓусебно растојание од 4 mm. Да се определи напонот помеѓу плочите.

$$/ U = 1,13[V] /$$

44. Напонот помеѓу две паралелни плочи кои се поставени на растојание од 2 mm, изнесува 100 V. Да се пресмета количеството електричество со коешто се наелектризирани плочите, ако плошина е 6 cm².

$$/ Q = 2,655 \cdot 10^{-10} [C] = 265,5 [pC] /$$

45. Две паралелни плочи со плошина од 0,01 m² се наелектризирани со количество електричество од 80 nC. Помеѓу нив владее напон од 50 KV. Да се определи растојанието помеѓу плочите.

$$/ d = 0,0525[m] = 5,25[cm] /$$

ЕКВИПОТЕНЦИЈАЛНИ ПОВРШНИ

Околу едно наелектризирано тело воспоставено е електростатичко поле. Точките во полето имаат свој електричен потенцијал. Ако се поврзат точките со еднаков интензитет, ќе образуваат множество од точки, чија форма ќе биде површина. Оваа површина се нарекува **екvipотенцијална површина**. Поинаку кажано, екvipотенцијална површина е онаа површина образувана од точки што имаат ист потенцијал во некое поле.

Екvipотенцијалните површини имаат особеност така што:

- векторот на електростатичкото поле е секогаш нормален на екvipотенцијалната површина;
- векторот на електростатичкото поле секогаш има насока од повисок кон понизок електричен потенцијал;
- и таму каде што е јачината на полето поголема, поголема е и густината на екvipотенцијалните површини.

Екvipотенцијалните површини околу точкест полнеж, или сфера, имаат сферен облик, додека површините помеѓу две паралелни плочи имаат облик на плоча и се паралелни со нив.

ЕНЕРГИЈА НА ЕЛЕКТРОСТАТИЧКО ПОЛЕ

Количеството електричество со коешто се наелектризираат две паралелни плочи, наелектризираат со спротивен знак, се нарекува оптоварување. За да се наелектризираат плочите, потребно е да се изврши некоја работа, совладувајќи ја електростатичката сила што владее помеѓу плочите. Оваа работа се претвора во потенцијална енергија на полето и се нарекува **енергија на електростатичко поле**, односно **електростатичка енергија**.

Пресметката за енергијата што е потребна за да се донаелектризираат плочите се дели во многу чекори, а потоа тие чекори се сумират во краен резултат, при што математичкиот апарат за оваа пресметка е комплициран. Пресметаниот резултат за електростатичката енергија е:

$$W = \frac{Q \cdot U}{2} [J] \quad (1.10)$$

$W [J]$ – енергија на електростатичко поле помеѓу две плочи

$Q [C]$ – количество електричество на наелектризираност на плочите

$U [V]$ – електричен напон помеѓу плочите

1.5 КОНДЕНЗАТОР

ЕЛЕКТРИЧЕН КОНДЕНЗАТОР

Кондензатор претставуваат две спроводни тела кои се наелектризираат со исто количество електричество, спротивни по знак, меѓусебно изолирани. Спроводните тела уште се нарекуваат електроди на кондензаторот. Едната електрода е наелектризирана со количество електричество $+Q$, а другата со $-Q$. Напонот помеѓу електродите е U . Експериментално може да се утврди дека менувањето на количеството електричество на електродите, пропорционално влијае и на промената на напонот помеѓу нив. Математички ова се запишува:

$$Q = C \cdot U, \text{ односно важи}$$

$$C = \frac{Q}{U} [F] \quad (1.11)$$

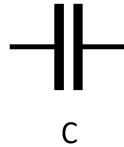
$C [F]$ – капацитивност на кондензатор

$Q [C]$ – количество електричество на електродите

$U [V]$ – електричен напон помеѓу електродите

Капацитивност од $1[F]$ е многу голема вредност (Земјата има од $71 \cdot 10^{-5}[F]$ капацитивност). Во практиката, овие вредности се pF, nF или μF .

Симболот со којшто кондензаторот се претставува во едно електрично коло е:



1.10 Симбол на кондензатор (C)

Покрај симболот, се става и ознаката C, која честопати има и индекс за полесно распознавање за кој кондензатор станува збор и со колкава вредност.

Случајот на двете големи наелектризирани плочи којшто досега го разгледувавме, претставува кондензатор. Според обликот на електродите, кондензаторите се делат на:

- плочести
- сферни
- цилиндрични

КАПАЦИТИВНОСТ НА КОДЕНЗАТОР

Електростатичкото поле кое се воспоставува во плочест кондензатор, кој е оптоварен со количество електричество Q е:

$$E = \frac{Q}{\epsilon_0 \cdot s} \left[\frac{V}{m} \right]$$

Напонот помеѓу електродите е:

$$U = E \cdot d = \frac{Q}{\epsilon_0 \cdot s} \cdot d [V]$$

За капацитивноста на кондензаторот се добива изразот:

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{Q}{\frac{Q}{\epsilon_0 \cdot s} \cdot d} = \frac{Q \cdot 1}{\frac{Q \cdot d}{\epsilon_0 \cdot s}} = \frac{\epsilon_0 \cdot s}{d} [F]$$

Капацитивноста на плочест кондензатор правопрпорционално зависи од материјалот (од диелектричната константа на тој материјал) со којшто електродите се изолирани меѓу себе и од плоштината на електродите (s); а обратнопропорционално зависи од растојанието помеѓу плочите (d). Капацитивноста **не** зависи од количеството електричество со коешто се наелектризирани електродите, ниту од електричниот напон на којшто е приклучен кондензаторот, туку зависи само од геометриските особини, односно од димензиите на електродите, растојанието помеѓу нив и изолацискиот материјал што е употребен. Ако како изолација помеѓу плочестите електроди се употреби некој друг материјал (да не е воздух, односно вакуум), тогаш капацитивноста на кондензаторот е:

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot S}{d} [F] \quad (1.12)$$

$C [F]$ – капацитивност на кондензаторот

$\epsilon_0 \left[\frac{F}{m}\right]$ – диелектрична константа

ϵ_r – релативна диелектрична константа, за воздух и вакуум е 1

$S [m^2]$ – плошина на електродите (плочите на кондензаторот)

$d [m]$ – растојание помеѓу електродите (плочите на кондензаторот)

Кога не се нагласува кој е изолацискиот материјал помеѓу плочите, електродите на еден кондензатор, се подразбира дека станува збор за воздух.

ЗАДАЧИ за вежбање:

46. Пресметај колку е капацитивноста на еден плочест кондензатор со плошина на плочите од $0,2 \text{ m}^2$, на растојание од 4 mm , поставени во воздух.

$$/ C = 4,42 \cdot 10^{-10} F = 442 \cdot 10^{-12} F = 442 [pF] /$$

Да се пресмета капацитивноста на истиот кондензатор, ако како изолатор се постави тефлон ($\epsilon_r = 2,1$). Резултатот да се продискутира.

$$/ C = 9,28 \text{ pF}, \text{ капацитивноста се зголемува при употреба на некој изолациски материјал кој не е воздух} /$$

47. Капацитивноста на еден плочест кондензатор е 30 pF , а плошината на плочите е 4 dm^2 . Да се определи на кое растојание се плочите, ако тие се наелектризирали со количество електричество од 24 nC . Да се определи вредноста на приклучениот напон.

$$/ d = 0,01179 \text{ m} \approx 0,012 \text{ m} = 12 [mm]; U = 800 [V] /$$

48. Капацитивноста од 180 nC на еден плочест кондензатор чишто електроди се на растојание од 3 mm , одржува наелектризираност на електродите од 80 nC . Да се определи плошината на плочите, напонот и електростатичкото поле помеѓу нив.

$$/ s = 62 [m^2]; U = 0,44 [V]; E = 148 \left[\frac{V}{m}\right] /$$

49. Електростатичкото поле помеѓу електродите на плочест кондензатор е 50 V/m , количеството електричество е 15 nC , а неговиот напон е 90 V . Да се одреди капацитивноста на кондензаторот, неговите геометриски особини (плошина на плочите и растојание помеѓу нив), како и енергијата што ќе се развие.

$$/ s = 0,034 [m^2]; C = 167 [pF]; d = 1,8 [mm]; W = 675 [J] /$$

50. Колку треба да изнесува плошината на електродите кај плочест кондензатор кој е приклучен на електричен напон од 40 V , а електричната енергија му е $100 \mu\text{J}$, при растојание помеѓу плочите од 4 mm ?

$$/ s = 57 [m^2] /$$

ВИДОВИ КОНДЕНЗАТОРИ

Кондензаторите се делат во две големи групи:

1. постојани
2. променливи

1. **Постојаните кондензатори** според обликот се делат на:

- **цилиндрични** – ова се плочести кондензатори кои се изработуваат од метални фолии помеѓу коишто се наоѓа изолаторска фолија. Плоштината на фолијата го дефинира s ; растојанието помеѓу фолиите, односно дебелината на изолаторската фолија изнесува неколку десетици nm и го дефинира d , додека типот на изолаторската фолија го одредува ϵ_r , и преку формулата: $C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot s}{d} [F]$, се пресметува капацитивноста на кондензаторот. Вака добиениот плочест кондензатор потоа се завиткува во вид на цилиндар, поради што и го добил своето име;
- **плочести** – се изработуваат слично како цилиндричните. Изолаторот честопати е лискун или стакло, имаат помал капацитет од цилиндричните и во финалната изработка не се завиткуваат, поради што и остануваат во плочеста форма;
- **диск** – имаат изолација од керамика, чија вредност на ϵ_r е многу голема, а формите на изработка се различни. Нивната капацитивност има најголем опсег на вредности;
- **чип** – се користат во електронските уреди и се најмали според димензиите.

2. **Променливите кондензатори** имаат изведба на плочест кондензатор, чиј изолациски материјал најчесто е воздух, поради што го носат името воздушни кондензатори. Електродите се изработуваат од повеќе слоеви, за да се зголеми капацитивноста на кондензаторот. Промената на капацитивноста, според самата формула за капацитет на плочест кондензатор може да биде со промена на една од големините:

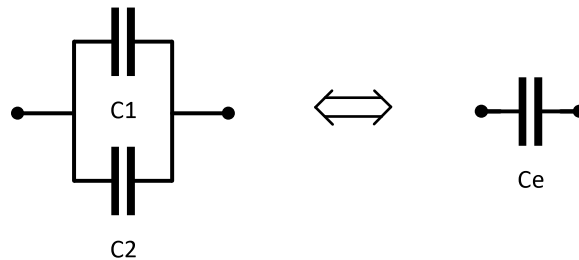
- **плоштината s** и ова е најчеста практична примена. На промена на плоштината се влијае така што едната електрода е подвижна (вртлива) и се менува меѓусебната активна површина;
- **растојанието d** – ова е искористено кај кондензаторските микрофони и звучници. Кај нив, под дејство на надворешна сила се менува растојанието помеѓу плочите, а со тоа се менува и капацитивноста на кондензаторот.

Постојат и други начини на кои кондензаторите се групираат. Поделбата се врши според изолациониот материјал, според изработката, според примената, според обликот на плочите.

ПАРАЛЕЛНО ПОВРЗАНИ КОНДЕНЗАТОРИ

Кондензаторите се изработуваат со однапред зададени, стандардизирани вредности. Во практиката имаме потреба и за други вредности. Овие други вредности се добиваат со поврзување на два или повеќе кондензатори, а начинот на поврзување е паралелен, сериски или комбиниран.

Паралелна врска на два кондензатора е:



1.11 Два паралелно поврзани кондензатора

Кондензаторите C_1 и C_2 имаат горни електроди кои се на ист потенцијал Φ_1 , а долни на Φ_2 . Разликата на потенцијалите е еднаква кај двата кондензатора, односно двата кондензатора имаат ист напон. Количеството електричество со коешто се оптоваруваат кондензаторите е различно, односно вкупното количество електричество Q се дели, и првиот кондензатор се оптоварува со Q_1 , а вториот со Q_2 .

$$Q = Q_1 + Q_2 [C]$$

$$U = U_1 = U_2 [V]$$

$$C_e = \frac{Q}{U} = \frac{Q_1 + Q_2}{U} = \frac{Q_1}{U} + \frac{Q_2}{U} [F]$$

$$C_e = C_1 + C_2 \quad (1.13)$$

Паралелно поврзаните кондензатори имаат ист напон, а различно оптоварување. Нивната еквивалентна капацитивност претставува збир од поединечните капацитивности. Ако се поврзат повеќе кондензатори (N кондензатори), формулата ќе биде дека вкупната капацитивност претставува сума (збир) од сите поединечни капацитивности:

$$C_e = \sum_{i=1}^N C_i = C_1 + C_2 + \dots + C_N [F] \quad (1.14)$$

ЗАДАЧИ за вежбање:

51. Пресметај колку е вкупната капацитивност на два паралелно поврзани кондензатора чишто поединечни капацитивности се 5 nF и 47 nF.

$$/ C = 5 + 47 = 52 [nF] /$$

52. Колку е вкупната капацитивност на три паралелни кондензатори чишто капацитивности се 100 nF, 18 nF и 2000 pF?

$$/ C = 100 + 18 + 2 = 120 [nF] /$$

53. Напонот на два паралелно поврзани кондензатора е 100 V, количеството електричество со којшто е оптоварен првиот кондензатор е 200 pC, а капацитивноста на вториот кондензатор е 4 pF. Да се определи капацитивноста на првиот кондензатор, оптоварувањето на вториот кондензатор, како и вкупната капацитивност и вкупното количество електричество.

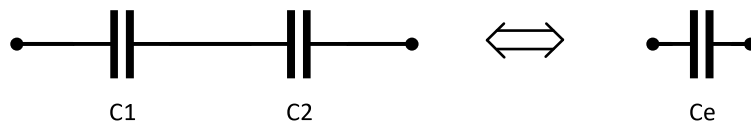
$$/ C_1 = 2[pF]; Q_2 = 400[pC]; C = 6[pF]; Q = 600[pC] /$$

54. Поврзани се два паралелни кондензатора. Првиот има капацитивност од 80 pF и оптоварување од 160 nC, а вкупното оптоварување на паралелната врска е 200 nC. Да се определи вкупната капацитивност на оваа паралелна врска.

$$/ C = 100[pF] /$$

СЕРИСКИ ПОВРЗАНИ КОНДЕНЗАТОРИ

Сериска, или уште наречена редна врска на два кондензатора е:



1.12 Два сериски поврзани кондензатора

Количеството електричество на првиот кондензатор е еднакво со количеството електричество на вториот кондензатор, бидејќи долната електрода на првиот кондензатор е директно поврзана на горната електрода од вториот кондензатор. Потенцијалот на горната електрода од првиот не е еднаква со потенцијалот на која било од електродите кај вториот кондензатор, односно имаат различни напони. За овие два кондензатора важи:

$$Q = Q_1 = Q_2[C]$$

$$U = U_1 + U_2[V]$$

$$U = \frac{Q}{C_e}, \quad U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q}{C_1}, \quad U_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{Q}{C_2},$$

$$U = U_1 + U_2 = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right), \quad \frac{Q}{C_e} = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)$$

$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \left[\frac{1}{F} \right] \quad (1.15)$$

Сериски поврзаните кондензатори имаат различен напон, а еднакво оптоварување. На овој начин се дефинира реципрочната вредност на вкупната капацитивност, а за N сериски поврзани кондензатори важи:

$$\frac{1}{C_e} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_N} \left[\frac{1}{F} \right] \quad (1.16)$$

Непрактичноста на оваа формула честопати се заменува со многу попрактичното решение, секогаш да се еквивалентираат по два кондензатора, и тогаш формулата е:

$$C_e = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} [F] \quad (1.17)$$

ЗАДАЧИ за вежбање:

55. Пресметај колку е вкупната капацитивност на два сериски поврзани кондензатора чишто поединечни капацитивности се 2 nF и 8 nF.

$$/ C = 1,6[nF] /$$

56. Колку е вкупната капацитивност на три паралелни кондензатори чишто капацитивности се 60 nF, 40 nF и 20 pF?

$$/ C = \frac{120}{11} = 10,9 \approx 11[pF] /$$

57. Оптоварувањето на два сериски поврзани кондензатора е 100 mC. Напонот на првиот кондензатор е 2KV, а капацитивноста на вториот кондензатор е 40μF. Да се определи капацитивноста на првиот кондензатор, напонот на вториот кондензатор, како и вкупниот напон.

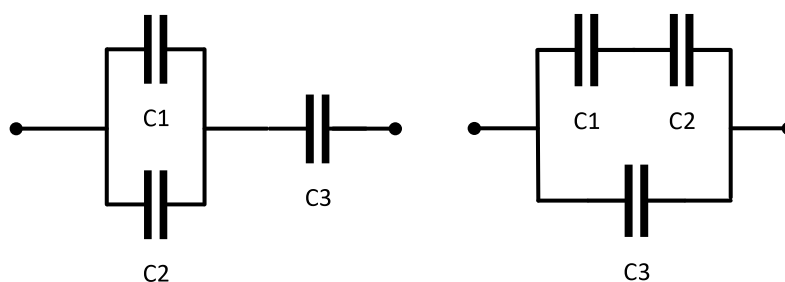
$$/ C_1 = 50\mu F; U_2 = 2,5[KV]; C = 2,2[\mu F]; U = 4,5[KV] /$$

58. Поврзани се два сериски кондензатора. Првиот има капацитивност од 30 pF. Вкупната капацитивност на сериската врска е 12 pF. Да се определи капацитивноста на вториот кондензатор.

$$/ C_2 = 20[pF] /$$

КОМБИНИРАНО ПОВРЗАНИ КОНДЕНЗАТОРИ

Комбинираната врска, како што кажува самото име, претставува комбинација на сериски и паралелни поврзани кондензатори. При паралелно поврзување на кондензаторите, вкупната капацитивност се зголемува, додека кај сериски поврзаните кондензатори, капацитивноста се намалува. Најмалиот број кондензатори што сочинуваат една комбинирана врска е три. Таквата изведба е:



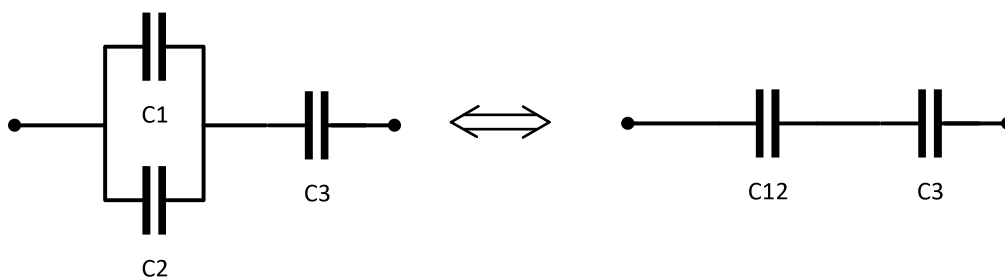
1.13 Наједноставна комбинирана врска од три кондензатори

Решавањето за ваквата комбинирана врска е следно.

За првата слика се забележува дека кондензаторите C_1 и C_2 се во паралелна врска. Нивната вкупна капацитивност ќе ја обележиме со C_{12} , а пресметката е:

$$C_{12} = C_1 + C_2$$

Еквивалентната шема, за првата слика, сега изгледа:



Вкупната еквивалентна капацитивност на ова коло е:

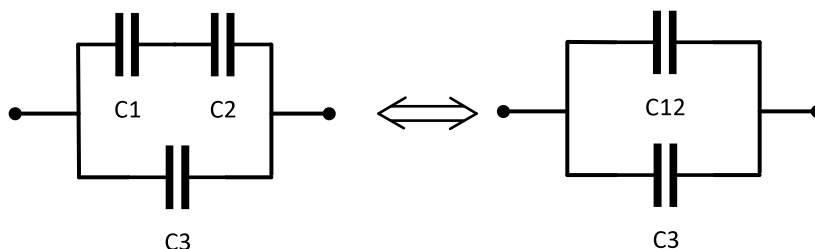
$$C_{\text{еквивалентно}} = C_e = C_{123} = \frac{C_{12} \cdot C_3}{C_{12} + C_3} [F]$$

Попрактично е еквивалентната, вкупна капацитивност на едно коло да се бележи како C_e или C_{123} . Вториот начин е попрегледен, затоа што дава увид во тоа кои кондензатори учествувале во еквивалентноста.

Кај вториот цртеж, второто коло, прво се еквивалентира сериската врска на C_1 и C_2 :

$$C_{12} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

Еквивалентната шема, за втората слика, сега изгледа вака:



Вкупната еквивалентна капацитивност на ова коло е:

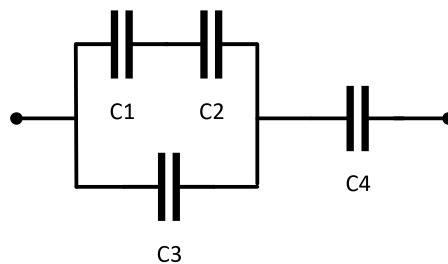
$$C_{\text{еквивалентно}} = C_e = C_{123} = C_{12} + C_3 [F]$$

ЗАДАЧИ за вежбање:

Во следниве задачи да се пресмета еквивалентната капацитивност

59.

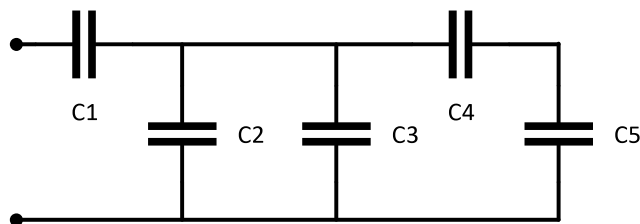
- $C_1 = 300 \text{ nF}$
 $C_2 = 200 \text{ nF}$
 $C_3 = 80 \text{ nF}$
 $C_4 = 50 \text{ nF}$



$/ C_e = 40[\text{nF}] /$

60.

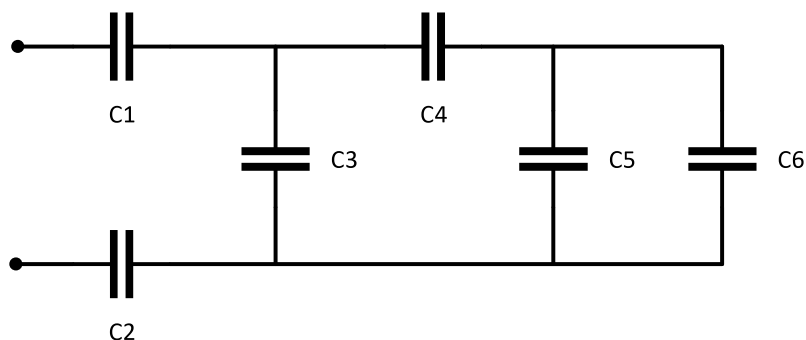
- $C_1 = 40 \text{ pF}$
 $C_2 = 2 \text{ pF}$
 $C_3 = 0,8 \text{ pF}$
 $C_4 = 18 \text{ pF}$
 $C_5 = 12 \text{ pF}$



$/ C_e = 8[\text{pF}] /$

61.

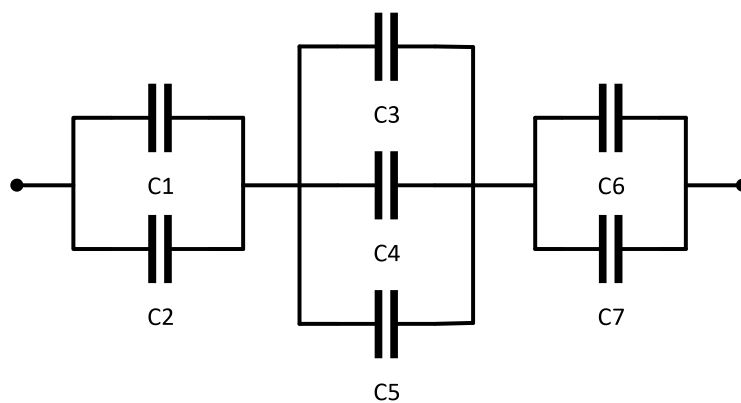
- $C_1 = 1,5 \text{ mF}$
 $C_2 = 3 \text{ mF}$
 $C_3 = 0,5 \text{ pF}$
 $C_4 = 5 \text{ mF}$
 $C_5 = 1 \text{ mF}$
 $C_6 = 4 \text{ mF}$



$/ C_e = 0,75[\text{mF}] /$

62.

- $C_1 = 1,5 \mu\text{F}$
 $C_2 = 0,5 \mu\text{F}$
 $C_3 = 0,4 \mu\text{F}$
 $C_4 = 0,8 \mu\text{F}$
 $C_5 = 0,3 \mu\text{F}$
 $C_6 = 1,9 \mu\text{F}$
 $C_7 = 2,1 \mu\text{F}$



$/ C_e = 0,8[\mu\text{F}] /$

2. ПОСТОЈАНИ СТРУИ

2.1 ОСНОВНИ ПОИМИ, КАРАКТЕРИСТИКИ И ЗАКОНИ КАЈ ПОСТОЈАНИТЕ СТРУИ

ЈАЧИНА НА ПОСТОЈАНА СТРУЈА

Движењето на јоните, односно на наелектризираните честички, го проучува електрокинетиката, која е дел од електротехниката. Станува збор само за движење предизвикано под дејство на електричните сили. Ако едно спроводно тело се внесе во електрично поле, ќе дојде до задвижување на валентните електрони. Организираното и насочено движење на наелектризираните честички се нарекува **електрична струја**. Во зависност од наелектризираните честички кои се движат, електричните струи се делат на:

- електронски струи – движење на електрони, карактеристични за движење во цврсти тела;
- јонски струи – движење на позитивни или негативни јони кое се јавува во течни и гасовити средини.

Постојани електрични струи се оние струи што не се менуваат во текот на набљудувањето на процесот.

ИЗВОР НА ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА

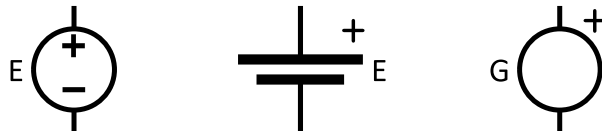
За да протече електрична струја, потребно е да постојат наелектризираните честички кои можат да се движат и електрично поле кое ќе го овозможи и ќе го насочи движењето. Наједноставен пример е еден кондензатор чии електроди се поврзуваат. Количеството електричество од негативната електрода, преку надворешното поврзување се задвижува кон позитивната електрода, под дејство на електростатичкото поле кое дејствува во кондензаторот. Поради движењето на полнежите, се намалува електростатичкото поле, кое со текот на времето целосно ќе исчезне, а со тоа ќе престане и текот на електричната струја. За да се одржи електричната струја, потребно е надополнување на електричните полнежи со кои се наелектризираните електродите на кондензаторот. Уредот кој има вакво својство се нарекува **електричен извор**, или во практиката познат како **генератор**. За да се изврши надополнување на електричниот полнеж, потребно е да се изврши некоја работа, односно да се употреби енергија. Затоа, за електричниот извор велиме дека е уред кој врши преобразба од еден вид на енергија во електрична енергија. Според видот на преобразбата, имаме:

- батерии и акумулатори, кои ја претвораат хемиската во електрична енергија;
- приклучоците во домовите, на работните места, се приклучоци од електричните централи, кои механичката ја претвораат во електрична енергија;
- соларните панели кои ја претвораат сончевата во електрична енергија.

Големината што ја карактеризира способноста на генераторот да врши преобразба од еден вид енергија во електрична енергија се нарекува **електромоторна сила (ЕМС) на генераторот**, која се бележи и само со E . Се дефинира како извршена работа за низ генераторот да протече одредено количеството електричество. Искажано математички, тоа е:

$$EMC = E = \frac{A}{Q} [V]$$

Симболот за електричен извор е:



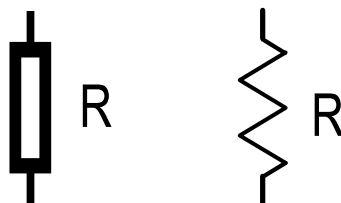
2.1 Симболи за електричен извор

Ознаката покрај изворот може да биде G , како за генератор, или да стои E , како ознака за ЕМС на генераторот.

Секој електричен извор има два приклучока, полови на изворот. Кај електричните извори за постојани електрични струи, едниот пол е постојано позитивен, а другиот е постојано негативен. Затоа симболот за електричен извор честопати има обележување само за позитивниот приклучок, затоа што автоматски се знае дека другиот ќе биде негативен.

ЗАТВОРЕНО СТРУЈНО КОЛО И НЕГОВИ ЕЛЕМЕНТИ

Кога електричниот извор ќе се поврзе со спроводник (спроводна жица) и низ него ќе протече струја, велиме дека сме воспоставиле елементарно електрично коло. Кога спроводникот низ којшто тече електричната струја ќе се претстави како елемент, тој елемент се нарекува **отпорник**. Неговиот електричен симбол е:



2.2 Симбол на отпорник R

Ознаката за отпорник е R , а основната единица за мерење на отпорноста е Ω -ом ($R[\Omega]$).

Под отпорник се подразбира секој вид на **потрошувач**, кој симболично е претставен со отпорноста што ја има. Како потрошувачи, во секојдневието се среќаваме со: светилки,

компјутер, монитор и телевизор, мобилен телефон, засилувач, звучници, фрижидер, шпорет. Како карактеристика на електричната отпорност се употребува и **електричната спроводност**, која се дефинира како реципрочна вредност на електричниот отпор.

$$G = \frac{1}{R} [S] \quad (2.1)$$

Основна единица мерка за мерење на спроводноста е S-сименс.

Основни елементи на едно електрично коло се изворите и отпорниците, кои се поврзани во една целина. Оваа целина мора да е затворена за да се обезбеди протекување на електричната струја и таа се нарекува **затворено струјно коло**. Електричната струја ја дефинираме како број на полнежи кои протекуваат низ еден замислен напречен пресек во единица време:

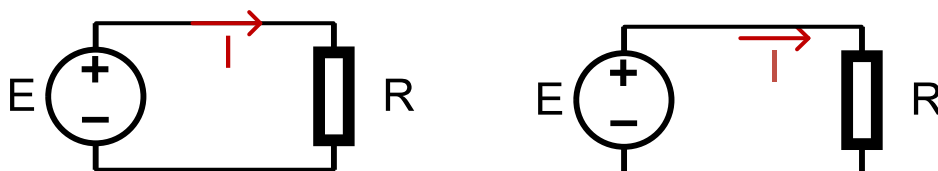
$$I = \frac{Q}{t} [A] \quad (2.2)$$

$I [A]$ – јачина на електрична струја

$Q [C]$ – количество електричество кое протекува низ еден замислен напречен пресек на спроводникот

$t [s]$ – време за коешто протекува количеството електричество

Со оваа формула не е опфатена насоката на движење на електричните полнежи. Насоката на електричната струја секогаш се дефинира на самата електрична шема. Наједноставното затворено електрично коло е сочинето од еден извор и еден потрошувач:



2.3 Едноставно коло со еден извор и потрошувач,
со различен начин на означување на електричната струја

Насоката на струјата се означува со стрелка на водовите кои ги поврзуваат елементите или веднаш под/над самиот вод. Усвоено е насоката на струјата низ елементите во колото да биде од повисок кон понизок потенцијал, што всушност е совпаѓање со електричното поле. Ова е движење на позитивните полнежи и оваа насока се нарекува техничка насока на струјата. Техничката насока е спротивна од течењето на електричната струја во металните спроводници, затоа што кај нив електричната струја ја чинат само негативно наелектризираните полнежи и нивната насока не се совпаѓа со техничката насока на струјата. Сите закони кои се поставени во електротехниката се формулирани врз техничката насока на струјата и поради тоа, сите излагања се направени за таква насока на електрична струја.

Кога ќе се решаваат посложени електрични кола, невозможно е однапред да се знае точната насока на струјата, а и напонот. Решавањето се врши со однапред претпоставени насоки, кои се викаат референтни насоки. Кога во пресметката се добиваат позитивни резултати, знаеме дека точно сме ја избрале претпоставената насока, но ако се добијат негативни решенија, значи само дека вистинската насока е спротивна од претпоставената.

ОМОВ ЗАКОН

Може да се забележи дека со зголемување на напонот, ќе дојде до зголемување на електричното поле. Зголемената вредност на електричното поле ќе влијае на зголемување на брзината на движењето на наелектризираните честички, а со тоа се зголемува и количеството на електричество што се пренесува за одредено време, што е дефиниција за јачина на електричната струја.

Германскиот физичар Георг Симеон Ом експериментално ја проучувал промената, зависноста на напонот од струјата во едно електрично коло. Тој ја увидел линеарната зависност на напонот од струјата и оваа зависност ја изразил со формулата:

$$U = I \cdot R [V],$$

Таа е многу повеќе препознатлива во формата:

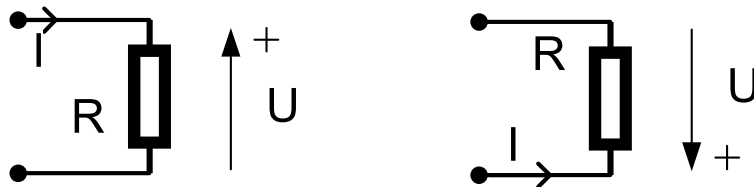
$$I = \frac{U}{R} [A] \quad (2.3)$$

$I [A]$ – јачина на електричната струја

$U [V]$ – напон на краевите на потрошувачот

$R [\Omega]$ – отпорност на потрошувачот

Омовиот закон гласи: струјата низ еден потрошувач е пропорционална со јачината на напонот на краевите на тој потрошувач.



2.4 Насоки на напонот на еден потрошувач, во зависност од насоката на струјата

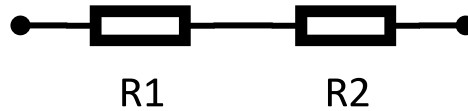
Референтната насока на напонот на краевите на еден отпорник секогаш има позитивна вредност на страната од којашто влегува струјата. Насоката на напонот се задава со стрелка, при што стрелката е насочена кон позитивната референтна насока и дополнително може да се стави и знак + на таа страна.

2.2 ПОВРЗУВАЊЕ НА ОТПОРНИЦИ

Отпорниците се произведуваат со стандардни вредности за нивната отпорност. Во практичната примена, пресметките многу почесто налагаат потреба од сосема поинакви вредности. Нестандардните вредности на отпорниците се добиваат со различно поврзување на стандардните отпорници во сериски, паралелни или во комбинирани врски.

СЕРИСКИ ПОВРЗАНИ ОТПОРНИЦИ

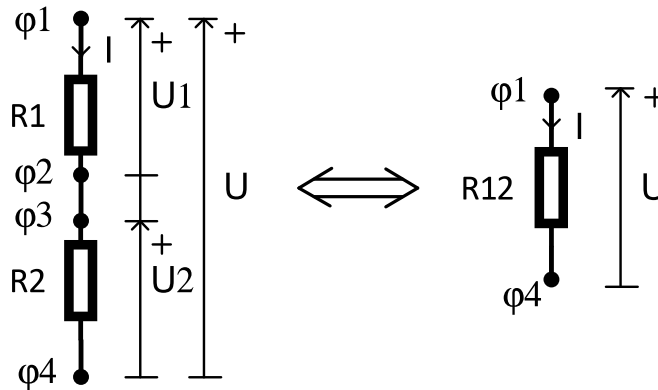
Сериска врска на отпорниците е врска на надоврзување, што подразбира на крајот на првиот отпорник да се надоврзе почетокот на вториот отпорник. Слободните краеве, почетокот на првиот отпорник и крајот на вториот се поврзуваат со остатокот од колото. Наједноставна сериска врска е врска на два отпорника, прикажана на сликата:



2.5 Сериски поврзани два отпорника

Низ сериската врска на отпорниците тече иста струја. За време t , низ првиот отпорник ќе протече количество електричество Q , а за истото време, низ вториот отпорник ќе протече истото количество електричество, па поради течењето на истото количество електричество, како и дефиницијата за електрична струја, се заклучува дека струјата низ двата отпорника е еднаква, односно струјата е иста.

На електричната шема, двата отпорника се заменуваат со еден отпорник. Овој отпорник се нарекува еквивалентен отпорник. Кога сериски поврзаните отпорници се заменуваат со еден еквивалентен отпорник, тоа се нарекува еквивалентирање на отпорници. За еквивалентниот отпорник важи дека има ист напон и струја со напонот и струјата на краевите на сериската врска.



2.6 Сериски поврзани два отпори и нивниот еквивалентен отпорник

Од еднаквоста на вкупниот напон и течењето на истата струја, се добива дека:

$$U_1 = \varphi_1 - \varphi_2$$

$$U_2 = \varphi_3 - \varphi_4$$

$$U = \varphi_1 - \varphi_4$$

$$U_1 + U_2 = (\varphi_1 - \varphi_2) + (\varphi_3 - \varphi_4) = \varphi_1 - \varphi_2 + \varphi_3 - \varphi_4$$

Бидејќи потенцијалите φ_2 и φ_3 се исти, важи еднаквоста $\varphi_2 = \varphi_3$, па се добива:

$$U_1 + U_2 = \varphi_1 - \varphi_4 = U$$

Ако го примениме Омовиот закон за U_1 и U_2 , како и за U :

$$U_1 = R_1 \cdot I, \quad U_2 = R_2 \cdot I, \quad U = R_{12} \cdot I$$

Ќе се добие:

$$U_1 + U_2 = U$$

$$R_1 \cdot I + R_2 \cdot I = R_{12} \cdot I$$

$$I \cdot (R_1 + R_2) = R_{12} \cdot I \quad / : I$$

$$R_e = R_{12} = R_1 + R_2 [\Omega] \quad (2.4)$$

Оваа еквивалентност важи и за N сериски врзани отпорници:

$$R_e = \sum_{i=1}^N R_i = R_1 + R_2 + \dots + R_N [\Omega] \quad (2.5)$$

ЗАДАЧИ за вежбање:

1. Пресметај колку е вкупната отпорност на два сериски поврзани отпорници чии поединечни отпорности се 15Ω и 25Ω .

$$/ R = 15 + 25 = 40[\Omega] /$$

2. Колку е вкупната отпорност на три сериски отпорници чии отпорности се 100Ω , 180Ω и 220Ω ?

$$/ R = 100 + 180 + 220 = 500[\Omega] /$$

3. Струјата низ два сериски поврзани отпорника е 4 A , напонот на првиот отпорник е 320 V , а отпорноста на вториот отпорник е 240Ω . Да се определи отпорноста на првиот отпорник, напонот на вториот отпорник, како и вкупната отпорност и вкупниот напон на сериската врска.

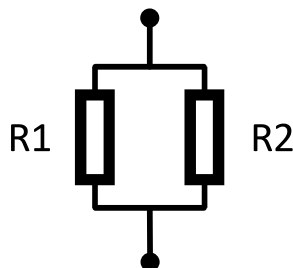
$$/ R_1 = 80[\Omega]; U_2 = 960[V]; R_{12} = 320[\Omega]; U = 1280[V] /$$

4. Поврзани се два сериски отпорника. Првиот има отпорност од 80Ω и напон од 160 V . Вкупниот напон на сериската врска е 200 V . Да се определи вкупната отпорност на оваа сериска врска.

$$/ R = 100[\Omega] /$$

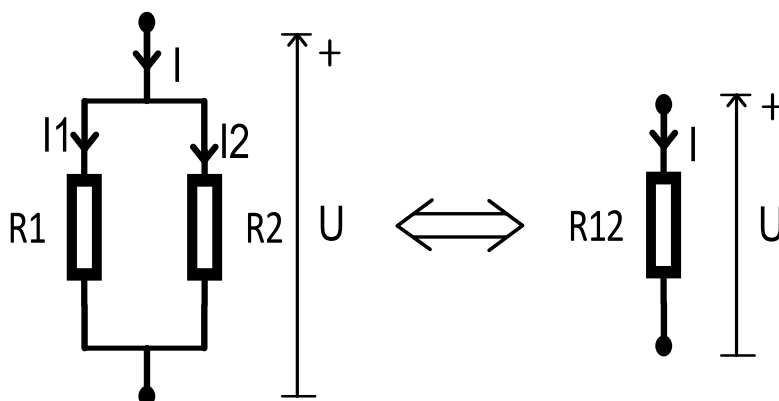
ПАРАЛЕЛНО ПОВРЗАНИ ОТПОРНИЦИ

Кога почетокот на првиот отпор се поврзува со почетокот на вториот отпор, а крајот на првиот се врзува со крајот на вториот отпор, се гради **паралелна врска** на отпорници, прикажана на сликава:



2.7 Два паралелно поврзани отпорника

Низ паралелна врска на отпорниците **не** тече иста струја, но затоа **паралелната врска на отпорниците има ист напон**. На електрична шема, двата отпорника се заменуваат со еден отпорник. Овој отпорник се нарекува еквивалентен отпорник. Кога паралелно поврзаните отпори се заменуваат со еден еквивалентен отпорник, тоа се нарекува еквивалентирање на отпорници. За еквивалентниот отпорник важи дека има ист напон и струја со напонот и струјата на краевите на паралелната врска.



Со примена на Омовиот закон на секој од отпорностите, имаме:

$$U = R_1 \cdot I_1, \quad U = R_2 \cdot I_2, \quad U = R_{12} \cdot I$$

Ако ги собереме струите I_1 и I_2 , се добива:

$$I_1 + I_2 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = U \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = U \cdot \frac{1}{R_{12}} = I$$

За еквивалентната отпорност се добива:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_{12}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \left[\frac{1}{\Omega} \right] \quad (2.6)$$

Паралелно поврзаните отпорници имаат различна струја, а еднаков напон. На овој начин се дефинира реципрочната вредност на вкупната отпорност, а за N паралелно поврзани отпорници важи:

$$\frac{1}{R_e} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N} \left[\frac{1}{\Omega} \right] \quad (2.7)$$

Поради непрактичноста на оваа формула, таа честопати се заменува со многу попрактичното решение секогаш да се еквивалентираат само по два отпорника, и тогаш формулата е:

$$R_e = R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} [\Omega] \quad (2.8)$$

Паралелната врска на два еднакви отпорника секогаш дава отпорник чијашто вредност е половина од вредноста на почетните отпорници.

$$R_1 = R_2 = R, \quad R_e = R_{12} = \frac{R}{2} [\Omega]$$

ЗАДАЧИ за вежбање:

5. Пресметај колку е вкупната отпорност на два паралелно поврзани отпорника чиешто поединечни отпорности се 1 Ω и 4 Ω .

$$/ R_e = 0,8[\Omega] /$$

6. Колку е вкупната отпорност на три паралелни отпорници чии отпорности се 6 Ω , 9 Ω и 4 Ω ?

$$/ R_e = \frac{36}{19} = 1,89 \approx 1,9[\Omega] /$$

7. Напонот на два паралелно поврзани отпорника е 100 V. Струјата низ првиот отпорник е 2 A, а отпорноста на вториот отпорник е 40 Ω . Да се определи отпорноста на првиот отпорник, струјата низ вториот отпор, како и вкупната струја.

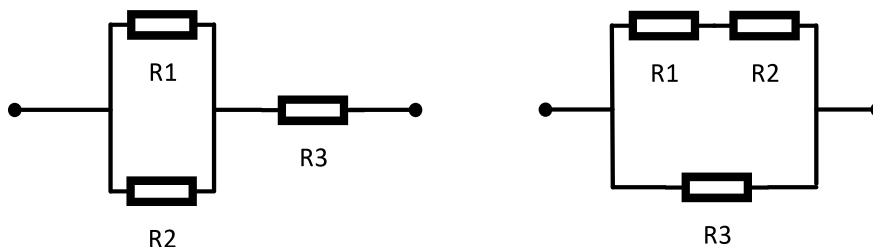
$$/ R_1 = 50\Omega; I_2 = 2,5[A]; R = 2,2[\Omega]; I = 4,5[A] /$$

8. Поврзани се два паралелни отпорника. Првиот има отпорност од 30 Ω . Вкупната отпорност на паралелната врска е 12 Ω . Да се определи отпорноста на вториот отпорник.

$$/ R_2 = 20[\Omega] /$$

КОМБИНИРАНО ПОВРЗАНИ ОТПОРНИЦИ

Комбинираната врска, како што кажува самото име, претставува комбинација на сериски и паралелни поврзани отпорници. При сериското поврзување на отпорници, вкупната отпорност се зголемува, додека при паралелно поврзани отпорници, отпорноста се намалува. Една комбинирана врска е сочинета од најмалку три отпорности. Таквата изведба е следнава:



2.8 Наједноставна комбинирана врска од три отпорници

Вкупната еквивалентна отпорност на првото коло е:

$$R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} [\Omega]$$

$$R_{\text{Еквивалентно}} = R_e = R_{123} = R_{12} + R_3 [\Omega]$$

Додека вкупната еквивалентна отпорност на второто прикажано коло е:

$$R_{12} = R_1 + R_2 [\Omega]$$

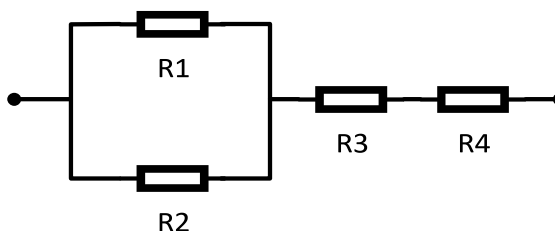
$$R_{\text{Еквивалентно}} = R_e = R_{123} = \frac{R_{12} \cdot R_3}{R_{12} + R_3} [\Omega]$$

ЗАДАЧИ за вежбање:

Во следните задачи, да се пресмета еквивалентната отпорност:

9.

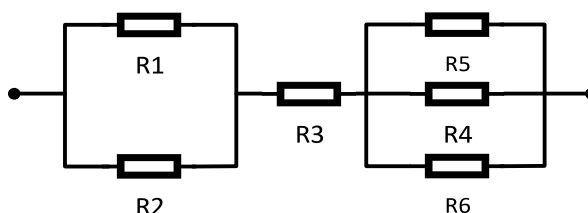
$$\begin{aligned} R_1 &= 12 \, \Omega \\ R_2 &= 18 \, \Omega \\ R_3 &= 10 \, \Omega \\ R_4 &= 8,8 \, \Omega \end{aligned}$$



$$/ R_e = 26[\Omega] /$$

10.

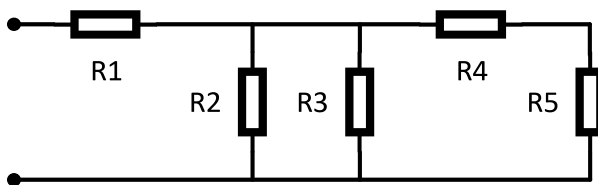
$$\begin{aligned} R_1 &= 2 \, \Omega \\ R_2 &= 6 \, \Omega \\ R_3 &= 5,1 \, \Omega \\ R_4 &= 15 \, \Omega \\ R_5 &= 10 \, \Omega \\ R_6 &= 4 \, \Omega \end{aligned}$$



$$/ R_e = 9[\Omega] /$$

11.

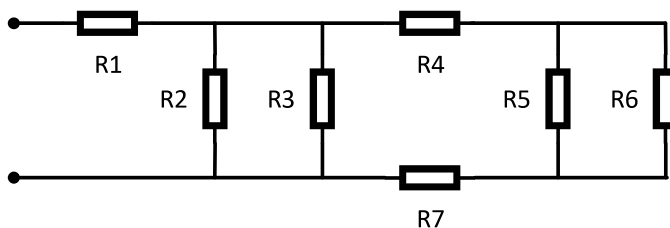
$R_1 = 5 \text{ K}\Omega$
 $R_2 = 4 \text{ K}\Omega$
 $R_3 = 4 \text{ K}\Omega$
 $R_4 = 1 \text{ K}\Omega$
 $R_5 = 1 \text{ K}\Omega$



$/ R_e = 6[\text{K}\Omega] /$

12.

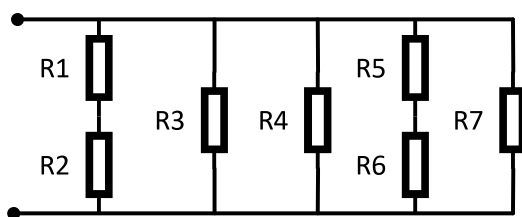
$R_1 = 5 \Omega$
 $R_2 = 4 \Omega$
 $R_3 = 8 \Omega$
 $R_4 = 3 \Omega$
 $R_5 = 8 \Omega$
 $R_6 = 8 \Omega$
 $R_7 = 1 \Omega$



$/ R_e = 7[\Omega] /$

13.

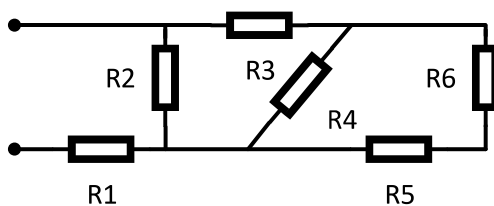
$R_1 = 0,6 \Omega$
 $R_2 = 0,4 \Omega$
 $R_3 = 3 \Omega$
 $R_4 = 6 \Omega$
 $R_5 = 8 \Omega$
 $R_6 = 7 \Omega$
 $R_7 = 10 \Omega$



$/ R_e = 0,6[\Omega] /$

14.

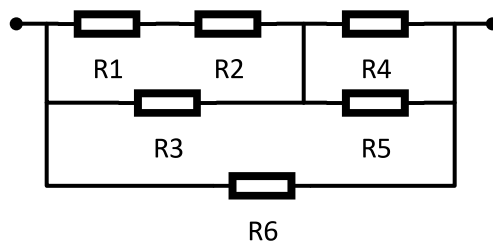
$R_1 = 25 \Omega$
 $R_2 = 60 \Omega$
 $R_3 = 8 \Omega$
 $R_4 = 20 \Omega$
 $R_5 = 18 \Omega$
 $R_6 = 12 \Omega$



$/ R_e = 40[\Omega] /$

15.

$R_1 = 5 \text{ M}\Omega$
 $R_2 = 15 \text{ M}\Omega$
 $R_3 = 20 \text{ M}\Omega$
 $R_4 = 30 \text{ M}\Omega$
 $R_5 = 30 \text{ M}\Omega$
 $R_6 = 15 \text{ M}\Omega$

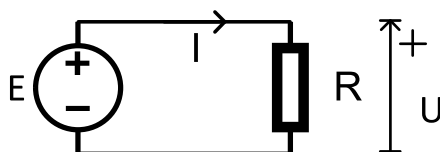


$/ R_e = 9,375[\text{M}\Omega] /$

2.3 ПРОСТО СТРУЈНО КОЛО СО ПОСТОЈАНА СТРУЈА

ПРЕСМЕТУВАЊЕ НА ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА ВО ПРОСТО КОЛО

Наједноставното струјно коло е електрично коло составено од еден извор и еден потрошувач.



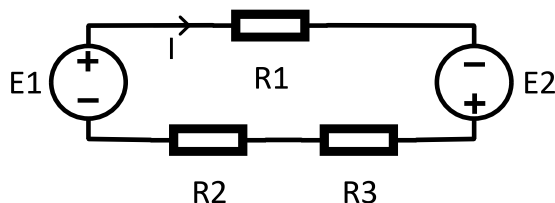
2.9 Едноставно коло од еден извор и еден потрошувач

Решавање на едно коло значи одредување на јачината на струите и напоните кај сите елементи во колото. Пресметувањето на електричните величини на зададеното коло започнува со фактот дека напонот на потрошувачот (отпорот) R е еднаков со електромоторната сила на изворот ($E = U$), така што за јачината на електричната струја во колото имаме:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{E}{R} [A]$$

Во ова струјно коло, елементите се поврзани сериски, што значи дека струјата низ елементите е иста, односно ова е решение за јачината на струјата во ова коло.

Просто коло е секое коло коешто има само сериски поврзани елементи, така што посложен облик на просто коло е оној во кој ќе има неколку извори и неколку потрошувачи. На сликата е прикажано просто коло со повеќе елементи, поточно со два извора и три отпорника:



2.10 Просто коло со 2 извора и 3 потрошувачи

За да се пресметаат вредностите во електричното коло, се подразбира дека вредностите за електромоторните сили на изворите и вредноста на отпорностите се познати. За пресметување на јачината на струјата, прво се претпоставува нејзината насока. Ако добиеното решение е позитивно, значи дека претпоставената насока е иста со вистинската насока. Негативно решение значи дека вистинската насока е спротивна од претпоставената, што **НЕ** подразбира дека претпоставената насока треба да се менува. Усвоена насока на струјата низ елементите во колото би требало да биде од повисок кон понизок потенцијал, што за насока на струја низ изворот, подразбира струјата да излегува од неговата позитивна страна. Така, за ова коло се добива дека јачината на струјата низ него е:

$$I = \frac{E_1 + E_2}{R_1 + R_2 + R_3} [A]$$

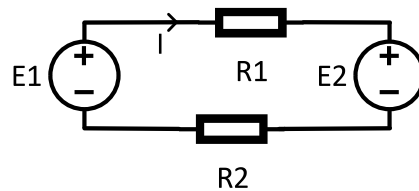
Напоните на поединечните елементи, отпори се:

$$U_1 = U_{R_1} = I \cdot R_1 [V]$$

$$U_2 = U_{R_2} = I \cdot R_2 [V]$$

$$U_3 = U_{R_3} = I \cdot R_3 [V]$$

Во случај некој извор да е поврзан спротивно, односно струјата да излегува од неговата негативна електрода, тогаш во пресметката за јачината на струјата пред тој извор се става знак минус. Да разгледаме едно такво просто коло:



2.11 Просто коло со 2 извора и 2 потрошувача

Сега јачината на струјата за ова коло е:

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} [A]$$

Напоните на отпорниците се:

$$U_1 = U_{R_1} = I \cdot R_1 [V]$$

$$U_2 = U_{R_2} = I \cdot R_2 [V]$$

Воопштено, за просто коло можеме да напишеме дека јачината на струјата во колото е:

$$I = \frac{\sum E}{\sum R} [A] \quad (2.9)$$

Овој израз се нарекува **воопштен Омов закон** за просто електрично коло. Јачината на струјата во колото претставува количник од сите електромоторни сили во колото и сите отпорности во истото коло. Електромоторните сили се запишуваат со знакот низ кој струјата излегува, а знакот пред отпорностите е секогаш плус. За потполно решавање на колото, потребно е да се одредат и напоните на сите елементи.

ПРЕСМЕТУВАЊЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕН НАПОН ПОМЕЃУ ДВЕ ТОЧКИ ВО ПРОСТО СТРУЈНО КОЛО

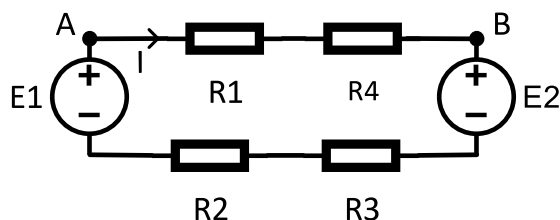
Напонот помеѓу две точки А и В се означува како U_{AB} , со што се подразбира дека точката А е на повисок потенцијал од точката В, а со ова означување е усогласена и примената на Омовиот закон. Според кажаново, произлегува дека напоните U_{AB} и U_{BA} се разликуваат само во изборот на референтната насока, односно интензитетот на овие напони е ист, а се разликуваат во знакот, и за нив важи:

$$U_{AB} = -U_{BA}.$$

Напонот помеѓу две точки во едно електрично коло претставува збир од електромоторните сили и напоните на потрошувачите $R \cdot I$, што може да се запише:

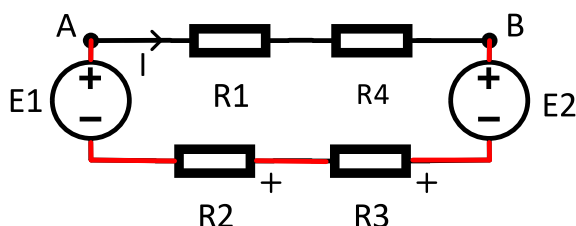
$$U_{AB} = \pm \sum E \pm \sum I \cdot R [V]$$

При формирањето на овие зборови, мора да се земат предвид знаците на секој елемент поединечно. **Насоката на движењето е од точката А кон точката В, со земено референтни знаци на влез.** За електромоторните сили се зема знакот на кој се наидува, а кај отпорите се става знак + на страната на којашто доаѓа струјата.



2.12 Просто коло, со означена насока на струјата

Во одредување на напонот U_{AB} , ќе се движиме од А кон В, по црвената патека, и ќе ги поставиме знаците на отпорниците R_2 и R_3 , одредени од насоката на течење на струјата I , како на сликата:



2.13 Просто коло, со означена насока на струја и патека за одредување на U_{AB}

Со црвената патека прво се доаѓа до E_1 и до неговата позитивна електрода, значи тој се запишува како $+E_1$. Потоа се наидува на R_2 , од страната на неговиот понизок потенцијал, и тој се запишува како $-I \cdot R_2$. Истата ситуација е и кај отпорот R_3 , тој е $-I \cdot R_3$. На крајот наидуваме на минус електродата на E_2 и тој е $-E_2$. Напонот U_{AB} е:

$$U_{AB} = +E_1 - I \cdot R_2 - I \cdot R_3 - E_2 [V]$$

Напонот U_{AB} може да се пресмета и по друга патека, преку отпорите R_1 и R_4 , при што записот за напонот ќе биде:

$$U_{AB} = +I \cdot R_1 + I \cdot R_4 [V]$$

Знакот + пред E_1 или пред $I \cdot R_1$ нема математичко значење, но е напишан само како следење на правилото да се напишат знаците на влез.

Вредноста на пресметаниот напон во двата случаја ќе биде ист, односно за **пресметување на напонот помеѓу две точки не е важен патот по којшто се движиме помеѓу точките.**

ЏУЛОВ ЗАКОН

Физичарот Џул по експериментален пат извршил мерења со цел да ја одреди количината на енергија што се претвора во топлина. Експериментално дошол до изразот за пресметување на топлотната енергија што се создава во еден отпорник. Топлотната енергија е еднаква на работата што се вложува за пренесување на електричниот полнеж кој ја формира електричната струја. Претходно имаме напоменато дека напонот е еднаков на количината на извршена работа за пренесување на полнеж, односно за работата можеме да запишеме:

$$A = U \cdot Q [J]$$

Овој израз е за пренесување на позитивен полнеж од точка со повисок потенцијал во точка со понизок потенцијал.

Ако разгледуваме отпорник со отпорност R , низ кој тече електрична струја со јачина I , за протеченото количество електричество низ отпорникот можеме да запишеме:

$$Q = I \cdot t [C]$$

Сега, за извршената работа се добива изразот:

$$A = U \cdot I \cdot t [J] \quad (2.10)$$

$A [J]$ – топлотна енергија на отпорникот

$I [A]$ – јачина на електричната струја

$U [V]$ – напон на краевите на отпорникот

$t [s]$ – време за коешто се набљудува топлотната енергија создадена на отпорникот

Овој израз го дефинира т.н. **Џулов закон**, со којшто се одредува топлотната енергија која се создава во еден отпорник.

Со примена на Омовиот закон, може да се добијат и изведени форми на Џуловиот закон:

$$A = U \cdot I \cdot t = R \cdot I^2 \cdot t = \frac{U^2 \cdot t}{R} [J]$$

Од зададените параметри во задачата зависи која од формите на Џуловиот закон ќе се примени. Инаку, овој израз се однесува на референтните насоки за напон и струја, дефинирани кај Омовиот закон.

Моќноста се дефинира како извршена работа во единица време:

$$A = P \cdot t [J], \text{ односно } p = \frac{A}{t} = \frac{U \cdot I \cdot t}{t} = U \cdot I [W]$$

$A [J]$ – топлотна енергија на отпорникот

$P [W]$ – моќност на потрошувачот

$t [s]$ – време за коешто се набљудува топлотната енергија создадена на отпорникот

Односно, за **моќноста** на потрошувачот се добива изразот:

$$P = U \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R} [W] \quad (2.11)$$

ЗАДАЧИ за вежбање:

16. Да се пресмета топлотната енергија и моќноста на потрошувач низ којшто тече струја од 2 A, на чии краеве има напон од 5 V, за време од 4 s.

$$/ A = 40 [J], P = 10 [W] /$$

17. Да се пресмета топлотната енергија на потрошувачот од задача 16, низ кој тече струја од 2 A, на чии краеве има напон од 5 V, но за време од 40 минути. Да се даде коментар за резултатот на овие две задачи.

$$/ A = 24000 [J] = 24 [KJ] /$$

18. Колкава топлотна енергија се развива на еден отпорник на чии краеве има напон од 220 V и низ кој тече струја од 2 mA, за време од половина час?

$$/ t = \frac{1}{2} h = 0,5 \cdot 3600 = 1800 [s]$$

$$A = 220 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 1800 = 792 [J] /$$

19. Да се пресмета напонот што се развива на краевите на еден отпорник, низ кој тече струја од 50 mA, за време од 40 s, а топлотната енергија на него е 200 J.

$$/ U = 100[V] /$$

20. За колкаво време ќе се развие топлотна енергија од 40 KJ, на отпорник од 100 Ω, низ кој тече струја од 8 A?

$$/ t = 6,25[s] /$$

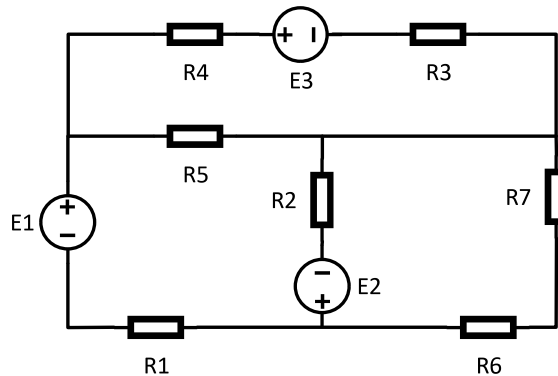
21. Да се пресмета напонот на отпорникот од 20 Ω, на кој за време од 2 s се развива топлотна енергија од 360 J. Потоа да се одреди и моќноста на потрошувачот.

$$/ U = 60[V], P = 180[W] /$$

2.4 РЕШАВАЊЕ НА СЛОЖЕНО СТРУЈНО КОЛО СО ПОСТОЈАНА СТРУЈА, СО ПРИМЕНА НА КИРХОФОВИТЕ ЗАКОНИ

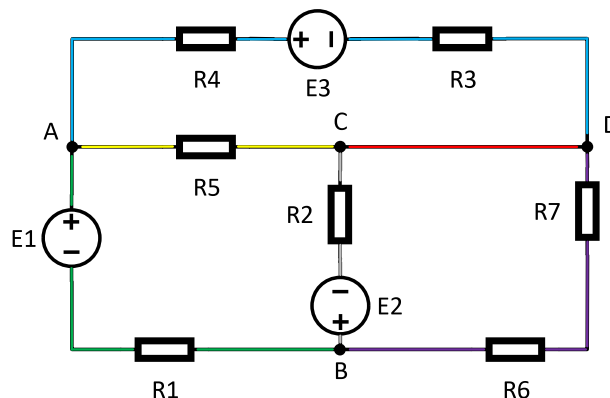
СЛОЖЕНО СТРУЈНО КОЛО

Во практиката, електричните кола се најчесто составени од поголем број извори и отпорници, меѓусебно поврзани во сериски и паралелни врски, односно во комбинирани врски. Ваквите електрични кола се нарекуваат сложени електрични кола.



2.14 Сложено електрично коло

Местото каде што се поврзуваат три или повеќе елементи – место елемент може да биде и само кусоспојница – се нарекува **јазол**. Јазлите вообичаено се обележуваат со големи латинични букви (A, B, C и D). Дел од електричното коло помеѓу два јазла, кој содржи најмалку еден елемент, се вика **гранка на електричното коло**. Во секоја гранка тече САМО ЕДНА струја, односно секоја гранка одговара на по една струја. За полесно согледување, гранките само на овој цртеж се обележани со боја (сина, зелена, жолта, виолетова и сива гранка).



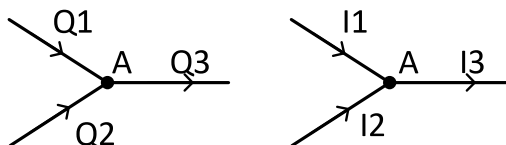
2.15 Сложено коло со обележани гранки

Линијата што ги спојува јазлите C и D не содржи елементи (црвена линија), таа НЕ е гранка и се нарекува кусоспојница, или **куса врска**. Низ кусата врска тече струја. Кога за ова сложено коло би требало да се даде бројот на гранки, тој не е 6, туку изнесува $N_G = 5$. Два јазла помеѓу кои има куса врска се сметаат како еден (ист) јазол ($C = D$), така што бројот на јазли за ова коло не е 4, туку $N_J = 3$.

Контура претставува затворена линија којашто спојува најмалку две гранки. Насоката што сами ја задаваме на контурата се нарекува нејзина ориентација.

ПРВ КИРХОФОВ ЗАКОН

Ако имаме три спроводника поврзани во еден заеднички јазол A



2.16 Јазол со количество електричество или струи во него

и низ секој спроводник дотекува количество електричество Q_1 и Q_2 , така што низ третиот спроводник ќе истече количество електричество Q_3 , за коешто важи:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3$$

Ако ова равенство се подели со времето t , ќе се добие:

$$\frac{Q_1}{t} + \frac{Q_2}{t} = \frac{Q_3}{t}$$

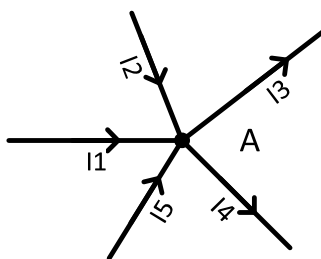
$$I_1 + I_2 = I_3$$

Заклучуваме дека струите што дотекуваат во јазолот се еднакви со струјата што истекува од истиот јазол.

Ова запазување го искажал Кирхофов и го дефинирал како **I Кирхофов закон**, кој гласи: **збирот на јачините на струите во кој било јазол на едно електрично коло е еднаков на нула**. Струите кои влегуваат во јазолот се земаат со знак +, а тие што излегуваат, со знак -. Математичкиот запис е:

$$\sum I = 0 \quad (2.12)$$

Кирхофовиот закон применет за следниот дел од коло:



2.17 Јазол и струите во него

Ќе биде:

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 + I_5 = 0$$

I Кирхофов закон може да се искаже и како: збирот на јачините на струите кои влегуваат во еден јазол е еднаков на збирот на јачините на струите кои излегуваат од тој јазол. Ова, всушност, го претставува физичкиот закон за неуништливост на

количеството електричество (колкаво количество електричество доаѓа во еден јазол, толкаво количество електричество и го напушта јазолот).

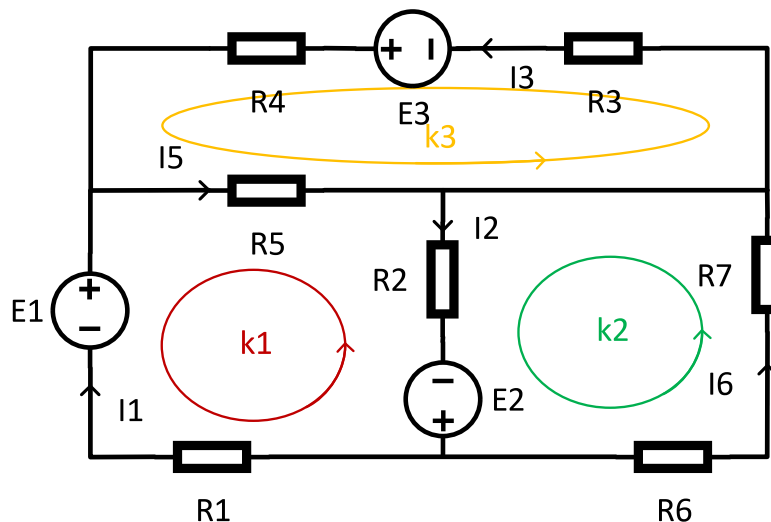
За прикажаниот дел од колото, во јазол A, можеме да запишеме:

$$I_1 + I_2 + I_5 = I_3 + I_4$$

I Кирхофов закон се однесува на струите во еден јазол. Струите се земаат со својата претпоставена насока. Ако во пресметката за вредноста на некоја од струите добиеме негативен број, тоа значи само дека насоката на струјата е спротивна од претпоставената.

ВТОР КИРХОФОВ ЗАКОН

Да разгледаме контура (замислена затворена линија) којашто е дел од едно електрично коло.



2.18 Сложено струјно коло

Нека ја земеме контурата k1, која има и своја ориентација. Законот кој ги поврзува електромоторните сили и сите напони во таа контура е **II Кирхофов закон**. Тој гласи: **збирот на сите електромоторни сили и напони на отпорниците во една контура изнесува нула.**

$$\pm \sum E \pm \sum R \cdot I = 0 \quad (2.13)$$

Се забележува дека имињата на електричните струи во една гранка не мора да се со редоследен број, туку нивните индекси најчесто се врзуваат со индексот на некој од отпорниците во гранката.

II Кирхофов закон применет на контурата k_1 , ќе гласи:

$$+E_1 - R_1 \cdot I_1 + E_2 - R_2 \cdot I_2 - R_5 \cdot I_5 = 0$$

Следејќи ја ориентацијата на контурата, се запишуваат знаците на влез. Претходно напоменаваме дека страната од којашто доаѓа струјата во отпорникот се зема со знак +, односно кога контурата k_1 наидува на отпорникот R_5 , доаѓа на неговата – страна, затоа производот $R_5 \cdot I_5$ се зема со знак –.

Примената на II Кирхофов закон на контурата k_2 е:

$$R_6 \cdot I_6 + R_7 \cdot I_6 + R_2 \cdot I_2 - E_2 = 0$$

Искажано за контурата k_3 е:

$$R_5 \cdot I_5 + R_3 \cdot I_3 - E_3 + R_4 \cdot I_3 = 0$$

ПРИМЕНА НА КИРХОФОВИТЕ ЗАКОНИ ВО РЕШАВАЊЕТО НА СЛОЖЕНИ СТРУЈНИ КОЛА

Да се реши едно сложено струјно коло подразбира да се одредат сите струи во колото, под услов да ни се познати сите вредности на електромоторните сили и отпорностите во колото. Ова може да се изведе со примена на Омовиот закон и на I и II Кирхофов закон.

Бројот на струите е еднаков со бројот на гранки, бидејќи во секоја гранка во колото тече само по една струја.

Ќе го разгледаме досегашниот пример, прикажан на слика 2.18:

Постапката за одредување на струите во едно сложено електрично коло секогаш оди по следниов редослед:

1. Го определуваме бројот на јазли (во нашиот пример, тоа се јазлите A, B, C и D), односно $N_J = 4$.
2. Бројот на равенки според I Кирхофов закон е: $N_J - 1$, односно за нашиот пример, тоа е $N_J - 1 = 4 - 1 = 3$; ние самите одредуваме кои три јазли ќе бидат напишани, а овде ќе ги напишеме јазол A, C и D.

$$A: I_3 + I_1 - I_5 = 0$$

$$C: I_5 - I_2 - I_8 = 0$$

$$D: I_8 + I_6 - I_3 = 0$$

3. Го определуваме бројот на гранки N_G , за нашиот пример тоа е $N_G = 6$.
4. Бројот на равенки според II Кирхофов закон е $N_G - (N_J - 1) = N_G - N_J + 1$, за кај нас тоа е $N_G - (N_J - 1) = 6 - (4 - 1) = 6 - 3 = 3$; тоа се трите контури k_1 , k_2 и k_3 .

$$k_1: -R_5 \cdot I_5 - R_2 \cdot I_2 + E_2 - R_1 \cdot I_1 + E_1 = 0$$

$$k_2: R_6 \cdot I_6 + R_7 \cdot I_6 - R_8 \cdot I_8 + R_2 \cdot I_2 - E_2 = 0$$

$$k_3: R_5 \cdot I_5 + R_8 \cdot I_8 + R_3 \cdot I_3 - E_3 + R_4 \cdot I_3 = 0$$

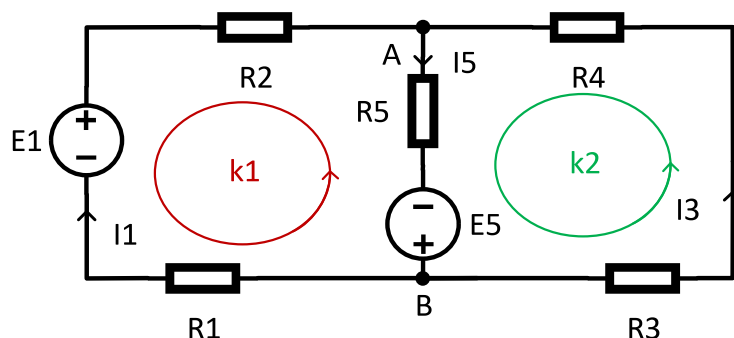
5. Овој систем од равенки, напишани под реден број 2 и 4, се решава и се добиваат јачините на струите во сложеното струјно коло

ЗАДАЧИ за вежбање:

Во следните задачи, да се пресметаат јачините на електричните струи

22.

$$\begin{aligned} R_1 &= 5 \, \Omega \\ R_2 &= 15 \, \Omega \\ R_3 &= 45 \, \Omega \\ R_4 &= 35 \, \Omega \\ R_5 &= 90 \, \Omega \\ E_1 &= 120 \, \text{V} \\ E_5 &= 10 \, \text{V} \end{aligned}$$



Решение:

1. Бројот на јазли $N_J = 2$

2. Бројот на равенки според I Кирхофов закон е $N_J - 1 = 2 - 1 = 1$

$$A: I_1 + I_3 - I_5 = 0$$

3. Го определуваме бројот на гранки N_G , тоа е $N_G = 3$

4. Бројот на равенки според II Кирхофов закон е $N_G - N_J + 1 = 3 - 2 + 1 = 2$, тоа се двете контури k_1 и k_2 .

$$k_1: -R_5 \cdot I_5 - R_2 \cdot I_1 + E_1 - R_1 \cdot I_1 + E_5 = 0$$

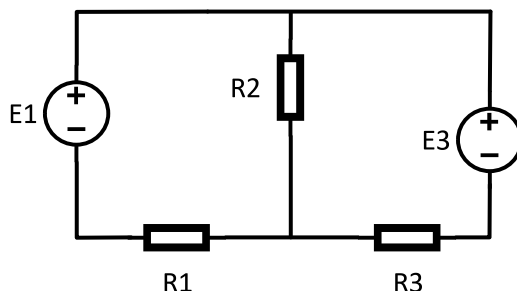
$$k_2: R_3 \cdot I_3 + R_4 \cdot I_3 + R_5 \cdot I_5 - E_5 = 0$$

5. Овој систем од равенки, напишани под реден број 2 и 4, се решава и се добиваат јачините на струите во сложеното струјно коло.

$$/ I_1 = 2[A], I_3 = -1[A], I_5 = 1[A] /$$

23.

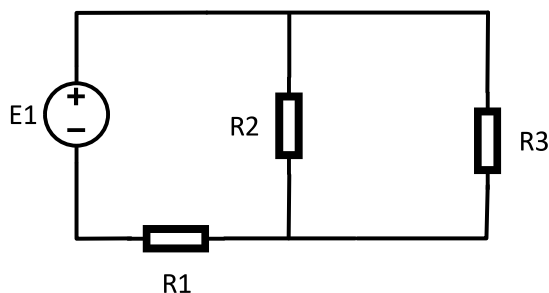
$$\begin{aligned} R_1 &= 10 \, \Omega \\ R_2 &= 16 \, \Omega \\ R_3 &= 30 \, \Omega \\ E_1 &= 100 \, \text{V} \\ E_3 &= 170 \, \text{V} \end{aligned}$$



$$/ I_1 = 2[A], I_2 = 5[A], I_3 = 3[A] /$$

24.

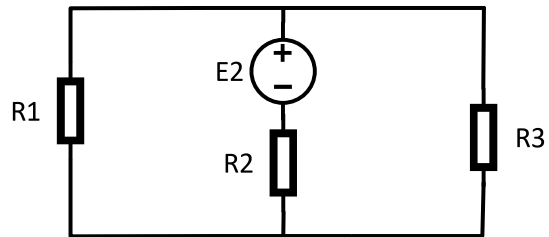
$$\begin{aligned} R_1 &= 12,5 \, \Omega \\ R_2 &= 10 \, \Omega \\ R_3 &= 30 \, \Omega \\ E_1 &= 200 \, \text{V} \end{aligned}$$



$$/ I_1 = 10[A], I_2 = 7,5[A], I_3 = 2,5[A] /$$

25.

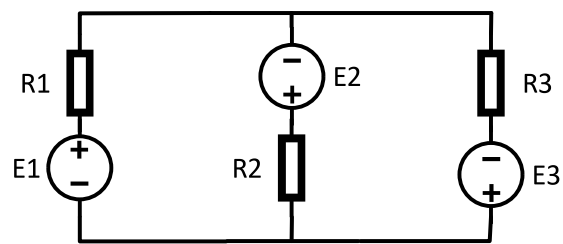
$R_1 = 24\text{k}\Omega$
 $R_2 = 4\text{k}\Omega$
 $R_3 = 8\text{k}\Omega$
 $E_2 = 400\text{V}$



$/ I_1 = 10[\text{mA}], I_2 = 40[\text{mA}], I_3 = 30 [\text{mA}] /$

26.

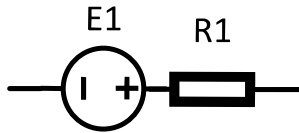
$R_1 = 1\Omega$
 $R_2 = 5\Omega$
 $R_3 = 10\Omega$
 $E_1 = 30\text{V}$
 $E_2 = 10\text{V}$
 $E_3 = 20\text{V}$



$/ I_1 = 10[\text{A}], I_2 = 6[\text{A}], I_3 = 4 [\text{A}] /$

2.5 РЕШАВАЊЕ НА СЛОЖЕНО СТРУЈНО КОЛО СО ПОСТОЈАНА СТРУЈА

Еден генератор, односно напонски извор, се карактеризира со својата електромоторна сила и со отпорноста на самиот извор. За ваквиот извор велиме дека е реален напонски извор. Ваквиот генератор се прикажува како сериска врска на извор и напон:



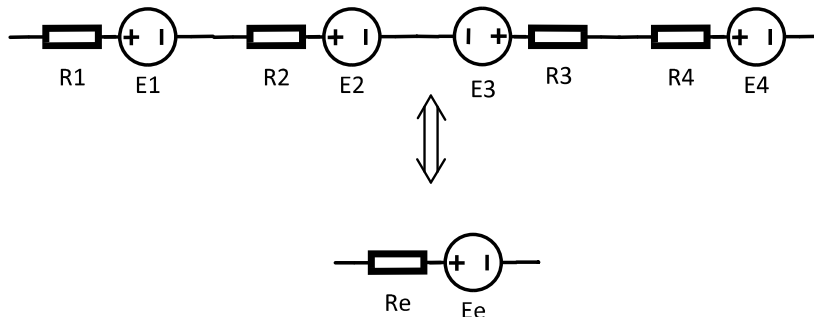
2.19 Реален напонски извор

Кај идеален напонски извор, отпорноста има вредност 0Ω .

Во практиката честопати се потребни вредности за изворот кои не се стандардни со производството. Во тој случај, се врши сериско и паралелно поврзување на изворите, со цел да се постигне бараната вредност.

СЕРИСКИ ПОВРЗАНИ НАПОНСКИ ГЕНЕРАТОРИ

Сериското поврзување на изворите е исто како сериското поврзување на отпорностите. Вака поврзаните извори формираат една гранка во едно сложено коло:



2.20 Сериски поврзани извори

Овој начин на поврзување се применува кога сакаме да ја зголемиме вкупната електромоторна сила, со тоа што сите поединечни извори се врзани така што нивните електромоторни сили да се совпаѓаат и тогаш вкупната електромоторна сила е збир од поединечните ЕМС. Но понекогаш поврзувањето не е само во иста насока, како што е дадено на сликата, и за вака поврзаните извори важи:

$$E_e = E_1 + E_2 - E_3 + E_4 [V]$$

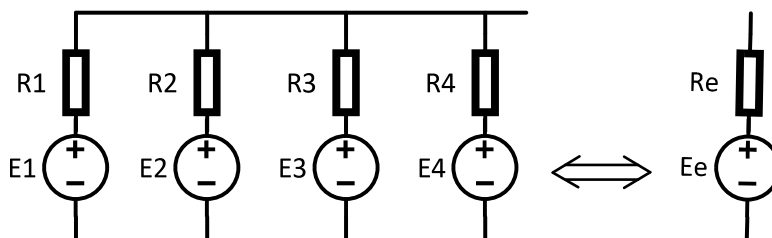
$$R_e = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 [\Omega]$$

За спротивно насочениот извор E_3 , велиме дека е врзан во опозиција.

Општо земено, кога сериски ќе поврземе N извори со насоки на електромоторните сили кои се совпаѓаат, вкупната електромоторна сила е збир од поединечните, а исто така и вкупната отпорност претставува збир од поединечните отпорности.

ПАРАЛЕЛНО ПОВРЗАНИ НАПОНСКИ ГЕНЕРАТОРИ

Паралелното поврзување се применува кога постои струјно ограничување на изворот, односно кога изворот може да поднесе помала струја од таа што е потребна. При паралелното поврзување на извори мора да се води сметка за поларитетот на изворот, односно изворите да се врзуваат само со истиот пол. Кога поврзуваме извори со иста електромоторна сила и иста отпорност во паралелна врска, се добива:



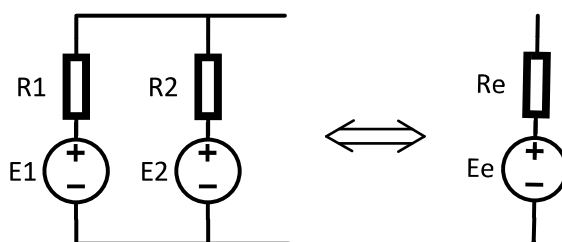
2.21 Паралелно поврзани исти извори

При што за еквивалентниот извор важи:

$$\begin{aligned} E_e &= E_1 = E_2 = E_3 = E_4 \text{ [V]} \\ R_1 &= R_2 = R_3 = R_4 = R, \quad R_e = \frac{R}{4} \text{ [\Omega]} \end{aligned} \quad (2.14)$$

Електромоторна сила останува иста со електромоторната сила на поединечните извори, додека вкупниот еквивалентен отпор се намалува онолку пати колку што има поврзани паралелни гранки (во нашиот пример тоа е 4).

Паралелно можат да се поврзат и извори чии електромоторни сили не се еднакви, прикажано како на сликата:



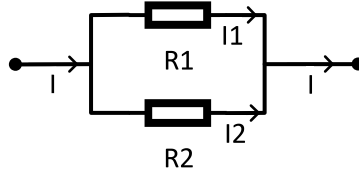
2.22 Два различни, паралелно поврзани извора

За вака поврзаните извори важи:

$$E_e = \frac{E_1 \cdot R_2 + E_2 \cdot R_1}{R_1 + R_2} \text{ [V]}, \quad R_e = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \text{ [\Omega]} \quad (2.15)$$

СТРУЕН ДЕЛИТЕЛ

Кога се решава едно сложено струјно коло, честопати се наидува на случај кога струјата што доаѓа до даден јазол се дели низ две гранки кои содржат само отпорници. Овие две гранки не содржат извори.



2.23 Дел од сложено коло, со две паралелни гранки

Кога струјата I ќе дојде во јазолот, таа се дели на струи I_1 и I_2 . Да го запишеме I и II Кирхофов закон за овој дел од електричното коло:

$$I - I_1 - I_2 = 0$$

$$+I_1 \cdot R_1 - I_2 \cdot R_2 = 0$$

Ако од второто равенство ја изразиме, на пример, струјата I_2 , ќе добиеме:

$$I_2 = \frac{I_1 \cdot R_1}{R_2} [A]$$

Потоа, ако овој израз го замениме во првото равенство, ќе имаме:

$$I = I_1 + \frac{I_1 \cdot R_1}{R_2} = I_1 \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) = I_1 \cdot \left(\frac{R_2 + R_1}{R_2}\right) [A]$$

Оттука, за струјата I_1 се добива изразот:

$$I_1 = \frac{I \cdot R_2}{R_2 + R_1} [A] \quad (2.16)$$

За ова равенство велиме дека е изведена формула за **струен делител**. Струјниот делител ја дефинира струјата во една од двете паралелни гранки и таа е еднаква на количникот од главната струја (струјата што доаѓа до јазолот и се дели) помножена со отпорноста на отпорникот што се наоѓа во спротивната паралелна гранка, поделена со збирот на отпорностите во двете паралелни гранки. Другата струја може да се пресмета на истиот начин:

$$I_2 = \frac{I \cdot R_1}{R_2 + R_1} [A]$$

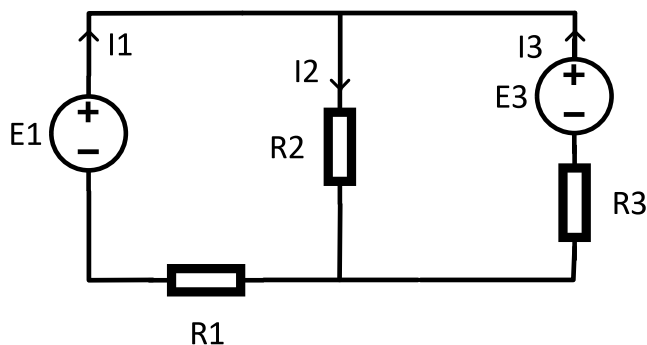
Или многу поедноставно може да се примени I Кирхофов закон, за оттука да се пресмета струјата I_2 како:

$$I_2 = I - I_1 [A]$$

2.6 МЕТОД НА СУПЕРПОЗИЦИЈА

Многу често применуван метод во решавањето сложени проблеми, а со тоа и на сложени струјни кола, е суперпозицијата. При решавањето на сложени кола со суперпозиција, потребно е колото да содржи минимум два извора. **Суперпозиција вели дека струјата во дадена гранка од сложено струјно коло со повеќе извори претставува алгебарски збир на парцијалните струи во истата гранка, кога секој од изворите делува поединечно.**

Да разгледаме едно сложено струјно коло со два извора:



2.24 Сложено електрично коло, за кое со суперпозиција, да се одредат сите струи во него

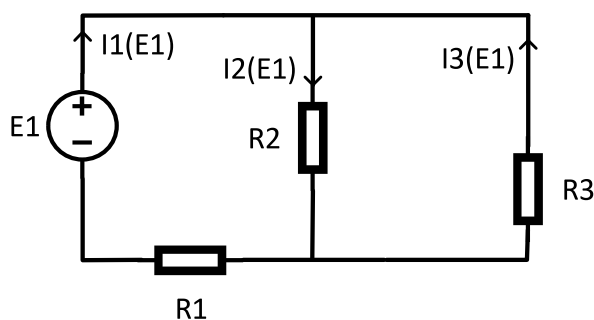
Вредностите на елементите во ова коло се:

$$\begin{aligned} E_1 &= 120 \text{ V} \\ E_3 &= 160 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_1 &= 4 \, \Omega \\ R_2 &= 5 \, \Omega \\ R_3 &= 4 \, \Omega \end{aligned}$$

Поединечните струи во колото се дадени на самата слика и нивната вредност ќе треба да се определи.

Прво се црта колото со еден од изворите, на пример E_1 , а другите извори се исклучуваат (исклучување на напонски извор значи напонскиот извор да се извади од колото и на негово место да се стави куса врска). Така се добива следното електрично коло:



2.25 Сложено струјно коло само со еден извор, E_1

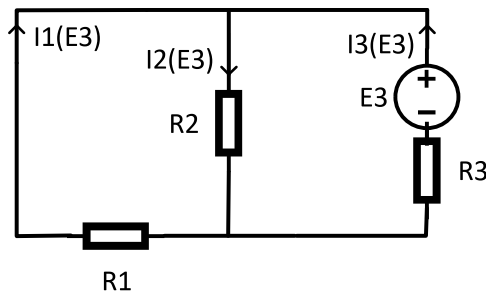
Струите во ова коло ги имаат истите насоки како на почетниот цртеж, со единствена разлика што во индексот носат и (E_1), со цел да се знае дека тоа е струјата што ја бараме кога во колото делува само изворот E_1 . Пресметката на струите во вака добиеното коло е најчесто многу поедноставна. Овде, со примена на досега наученото за струите, ги добиваме следниве вредности:

$$I_1(E_1) = 19,3 [A]$$

$$I_2(E_1) = 8,6 [A]$$

$$I_3(E_1) = -10,7 [A]$$

Потоа се црта колото со изворот E_3 , со други исклучени извори:



2.26 Сложено струјно коло само со еден извор, E_3

Струите во ова коло ги имаат истите насоки како на почетниот цртеж, со единствена разлика што сега во индексот носат (E_3), со цел да се знае дека тоа е струјата што ја бараме кога во колото делува само изворот E_3 . Пресметката на струите ги дава следниве вредности:

$$I_1(E_3) = -14,3 [A]$$

$$I_2(E_3) = 11,4 [A]$$

$$I_3(E_1) = 25,7 [A]$$

Вкупните струи во колото се алгебарски збир на поединечните струи, пресметани кога во колото делува само еден од изворите:

$$I_1 = I_1(E_1) + I_1(E_3) = 19,3 - 14,3 = 5 [A]$$

$$I_2 = I_2(E_1) + I_2(E_3) = 8,6 + 11,4 = 20 [A]$$

$$I_3 = I_3(E_1) + I_3(E_3) = -10,7 + 25,7 = 15 [A]$$

На крајот можеме да провериме дали резултатот е точен, со примена на I Кирхофов закон во јазол:

$$I_1 - I_2 + I_3 = 0$$

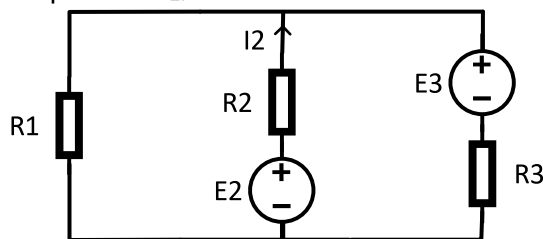
$$5 - 20 + 15 = 0$$

Со тоа сме потврдиле дека пресметката направена според методот на суперпозиција е точна.

ЗАДАЧИ за вежбање:

27. Да се пресмета струјата низ отпорникот R_2 .

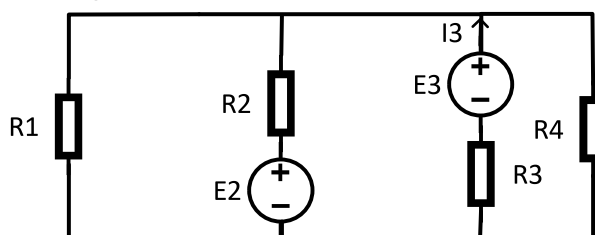
$$\begin{aligned} E_2 &= 100 \text{ V} \\ E_3 &= 80 \text{ V} \\ R_1 &= 12 \, \Omega \\ R_2 &= 10 \, \Omega \\ R_3 &= 20 \, \Omega \end{aligned}$$



$$/ I_2 = 4[\text{A}] /$$

28. Да се пресмета струјата низ отпорникот R_3 .

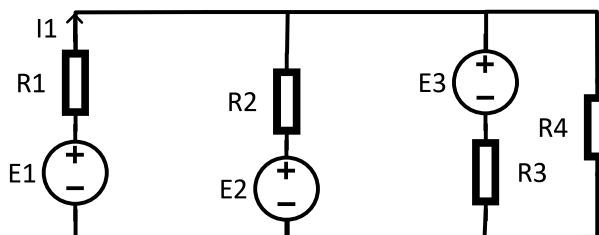
$$\begin{aligned} E_2 &= 10 \text{ V} \\ E_3 &= 12 \text{ V} \\ R_1 &= 1 \, \Omega \\ R_2 &= 5 \, \Omega \\ R_3 &= 7 \, \Omega \\ R_4 &= 5 \, \Omega \end{aligned}$$



$$/ I_3 = 1[\text{A}] /$$

29. Да се пресмета струјата низ отпорникот R_1 .

$$\begin{aligned} E_1 &= 90 \text{ V} \\ E_2 &= 30 \text{ V} \\ E_3 &= 40 \text{ V} \\ R_1 &= 9 \, \Omega \\ R_2 &= 4 \, \Omega \\ R_3 &= 4 \, \Omega \\ R_4 &= 2 \, \Omega \end{aligned}$$



$$/ I_1 = 2[\text{A}] /$$

2.7 ТЕВЕНЕНОВА ТЕОРЕМА

Кога во едно сложено електрично коло треба да одредиме само една струја, најпогодно е да ја користиме **Тевененовата теорема**. Оваа теорема е и практично најизводлива. **Тевененова теорема** тврди дека едно коло со два изводи **A** и **B**, може да се замени со еквивалентно коло кое се состои од еден напонски извор E_T и сериски врзан отпорник на него R_T .

Теоремата се одвива во три чекори:

1. Гранката во којашто се бара струјата се отстранува од колото. На краевите на таа гранка се обележуваат точки **A** и **B**. Останатиот дел од колото сега има струи што имаат различни вредности од првобитните и се најчесто полесни за пресметување. Потоа се пресметува напонот помеѓу точките **A** и **B**. Овој напон е еднаков на електромоторната сила на еквивалентниот генератор за останатиот дел од колото и го носи името **Тевененов генератор** E_T , при што важи:

$$E_T = U_{AB}$$

2. Во овој чекор се прецртува останатиот дел од електричното коло, без гранката AB, со тоа што се исклучуваат сите извори од колото. Напонските извори се исклучуваат така што се заменуваат со куса врска. Сега колото содржи само отпорници и се одредува еквивалентниот отпор помеѓу точките A и B, односно R_{AB} , кој го носи името **Тевененов отпорник R_T** и за него важи:

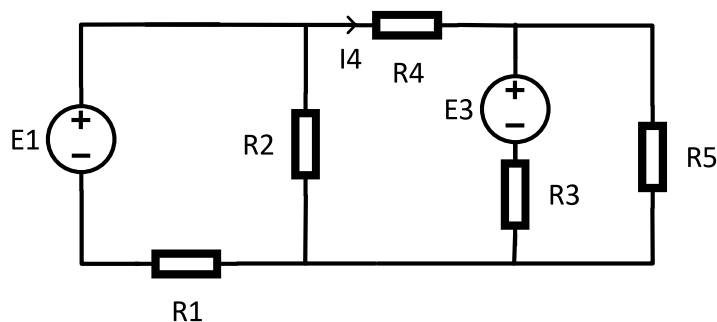
$$R_T = R_{AB}$$

3. Во последниот чекор се црта едно неразгрането, просто коло. Се обележуваат точките A и B и помеѓу нив се црта E_T , со + кон точката A и отпорник R_T . Потоа, помеѓу A и B од другата страна се доцртува гранката што ја отстранивме, каде што ја бараме струјата. Струјата во ова коло се бара со воопштен Омов закон за просто коло:

$$I = \frac{\sum E}{\sum R} [A]$$

Каде што електромоторните сили се запишуваат со знак низ кој струјата излегува.

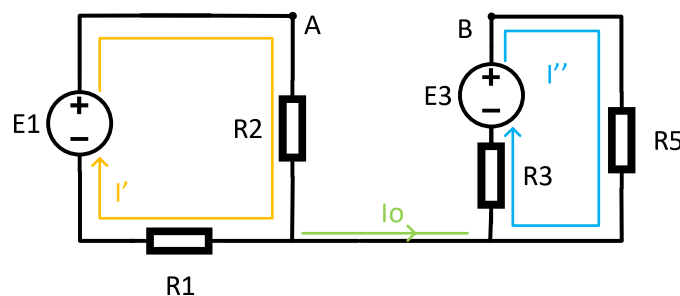
Да ја разгледаме примената на Тевененовата теорема на следново коло:



2.27 Сложено електрично коло, за кое да се одреди ја струјата I_4 со Тевененовата теорема

Да се одреди струјата I_4 која тече низ отпорот R_4 .

1. Ги обележуваме точките A и B и ја отстрануваме гранката со отпорот R_4 . Електричното коло го добива следниот изглед:



2.28 Сложено електрично коло без гранката AB, прв чекор

Струјата I_0 има вредност нула ($I_0 = 0A$). Останатите две струи се пресметуваат на следниот начин:

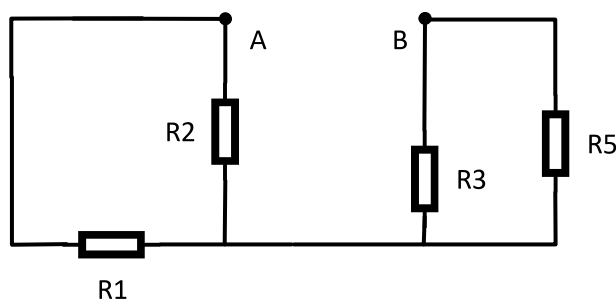
$$I' = \frac{E_1}{R_1 + R_2} [A]$$

$$I'' = \frac{E_3}{R_3 + R_5} [A]$$

Напонот помеѓу точките А и В е:

$$U_{AB} = R_2 \cdot I' + R_3 \cdot I'' - E_3 = E_T$$

2. Сега го прецртуваме колото без гранката АВ, без генератори, и колото содржи само отпорници, како на сликата:



2.29 Сложено електрично коло, без гранката АВ и без генератори, втор чекор

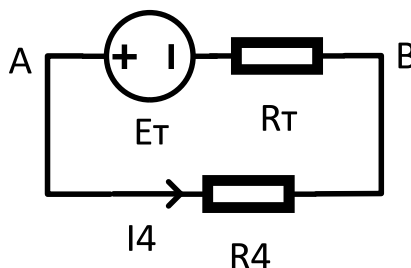
Помеѓу точките А и В, отпорниците се поврзани на следниот начин: R_1 и R_2 се паралелни, R_3 и R_5 се паралелни, а нивните еквивалентни отпорности се сериски. Ова се запишува:

$$R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} [\Omega]$$

$$R_{35} = \frac{R_3 \cdot R_5}{R_3 + R_5} [\Omega]$$

$$R_{AB} = R_T = R_{12} + R_{35} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 \cdot R_5}{R_3 + R_5} [\Omega]$$

3. Неразгранетото коло помеѓу точките А и В е:



2.30 Еквивалентно коло со гранката АВ и еквивалентниот Тевененов генератор и отпор

Струјата во ова просто коло е:

$$I_4 = \frac{E_T}{R_T + R_4} [A]$$

Тевененовата теорема се користи и за наоѓање на максимална моќност што едно коло може да му ја предаде на еден потрошувач. Максимална моќност на еден потрошувач му се предава кога отпорноста на потрошувачот има еднаква вредност со Тевененовиот отпорник.

ЗАДАЧИ за вежбање:

1. Да се пресмета струјата низ отпорникот R_2 .

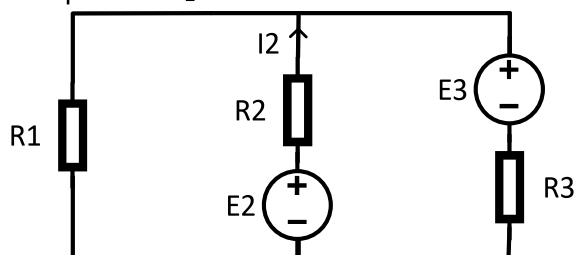
$$E_2 = 100 \text{ V}$$

$$E_3 = 80 \text{ V}$$

$$R_1 = 12 \Omega$$

$$R_2 = 10 \Omega$$

$$R_3 = 20 \Omega$$



$$/ I_2 = 4[\text{A}] /$$

2. Да се пресмета струјата низ отпорникот R_3 .

$$E_2 = 10 \text{ V}$$

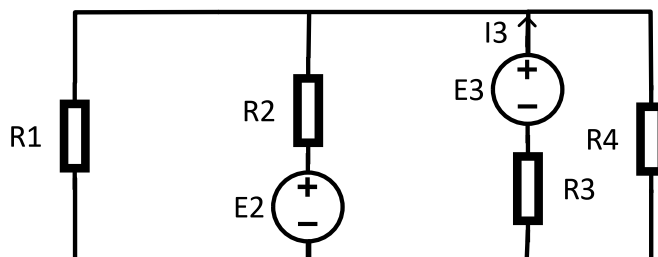
$$E_3 = 12 \text{ V}$$

$$R_1 = 1 \Omega$$

$$R_2 = 5 \Omega$$

$$R_3 = 7 \Omega$$

$$R_4 = 5 \Omega$$



$$/ I_3 = 1[\text{A}] /$$

3. Да се пресмета струјата низ отпорникот R_1 .

$$E_1 = 90 \text{ V}$$

$$E_2 = 30 \text{ V}$$

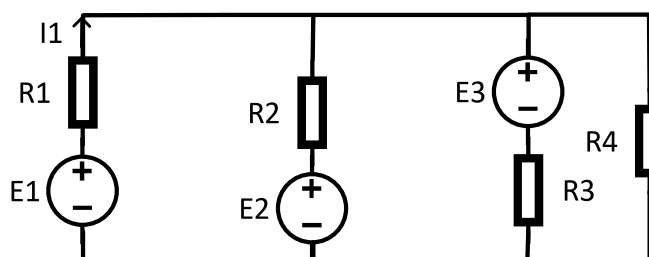
$$E_3 = 40 \text{ V}$$

$$R_1 = 9 \Omega$$

$$R_2 = 4 \Omega$$

$$R_3 = 4 \Omega$$

$$R_4 = 2 \Omega$$



$$/ I_1 = 2[\text{A}] /$$

4. Да се пресмета струјата низ отпорникот R_5 .

$$E_1 = 10 \text{ V}$$

$$E_3 = 15 \text{ V}$$

$$R_1 = 4 \Omega$$

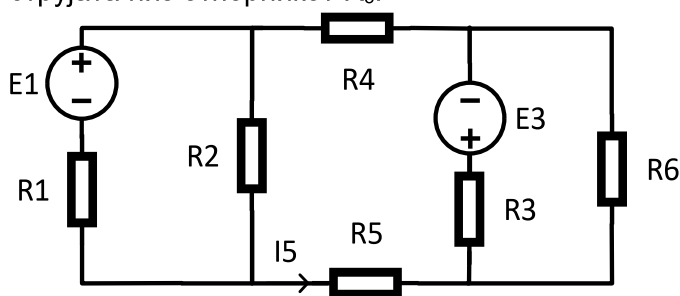
$$R_2 = 1 \Omega$$

$$R_3 = 2 \Omega$$

$$R_4 = 10 \Omega$$

$$R_5 = 9 \Omega$$

$$R_6 = 3 \Omega$$



$$/ I_5 = -0,5 [\text{A}] /$$

5. Да се пресмета струјата низ отпорникот R_5 .

$$E_1 = 10 \text{ V}$$

$$E_3 = 26 \text{ V}$$

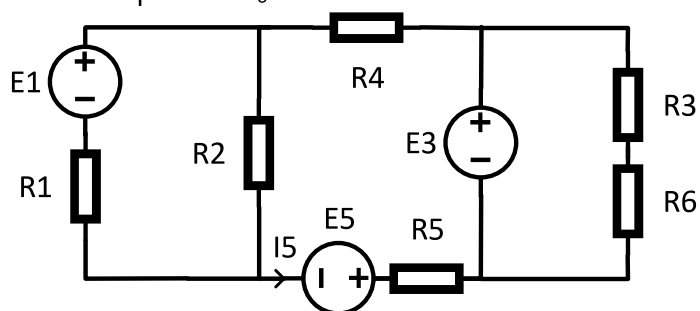
$$E_5 = 12 \text{ V}$$

$$R_1 = 10 \Omega$$

$$R_2 = 15 \Omega$$

$$R_4 = 4 \Omega$$

$$R_5 = 25 \Omega$$



$$/ I_5 = 2[\text{A}] /$$

3. МАГНЕТНИ ВЛИЈАНИЈА

3.1 МАГНЕТНА ИНДУКЦИЈА, ПЕРМЕАБИЛНОСТ И ЕЛЕКТРОМАГНЕТ

ВЕКТОР НА МАГНЕТНА ИНДУКЦИЈА ВО БЛИЗИНА НА ТЕНОК ПРАВ СПРОВОДНИК НИЗ КОЈ ТЕЧЕ СТРУЈА

Зборот магнетизам потекнува од името на градот Магнезија во Мала Азија, во чија близина имало рудник на магнетит.

Еден спроводник низ којшто тече струја околу себе создава поле кое има својство да дејствува на магнетна игла, односно да ја задвижи. Откритијата на Ампер покажале дека постои сила помеѓу два спроводника низ кои тече струја, а оваа сила е привлечна или одбивна, во зависност од насоката на струјата низ спроводниците.

Карактеристика на овие сили е дека тие се последица на магнетното дејствие на електричната струја, поради што и се нарекуваат електромагнетни сили. Магнетните појави се последица на особините што ги стекнува просторот во околината на спроводниците низ коишто тече струја. Овој простор е доведен во посебна физичка состојба. Посебната состојба на просторот околу спроводник низ којшто тече електрична струја се вика **магнетно поле**. Така, ова тврдење е двонасочно: околу спроводник низ кој тече електрична струја постои магнетно поле или ако постои магнетно поле, тоа е последица од магнетното влијание на електричната струја.

Големината што ја употребуваме за да го опишеме полето се нарекува магнетна индукција, а нејзиниот вектор е $\vec{B}$. Насоката на векторот на магнетната индукција е одредена со насоката што би ја покажал северниот пол на магнетната игла, поставена во близина на спроводникот низ којшто тече електричната струја.

Француските научници Био и Савар набљудувале долг (бескрајно долг), тенок, прав спроводник низ кој тече електрична струја. Научниците експериментално ги одредувале интензитетот и насоката на магнетното поле, односно векторот на магнетната индукција што се јавува околу спроводникот. Така е дефиниран интензитетот на магнетната индукција:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r} [T] \quad (3.1)$$

$B [T]$ – магнетна индукција

$I [A]$ – јачина на електрична струја низ спроводникот

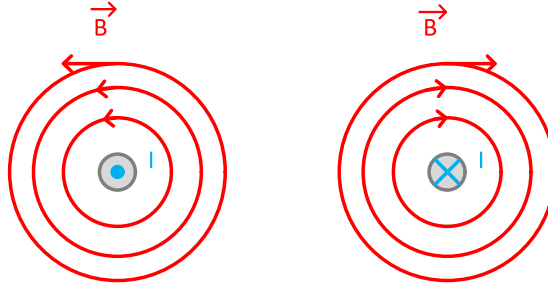
$r [m]$ – растојание од спроводникот до местото (точката) каде што го одредуваме интензитетот на векторот на магнетната индукција

$\mu_0 [H/m]$ – магнетна пермеабилност на вакуумот: $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} = 12,5664 \cdot 10^{-7} [H/m]$

Овој израз за пресметување на интензитетот на магнетната индукција се нарекува **Био-Саваров закон**.

Векторот на магнетната индукција $\vec{B}$, има и свој правец и насока, кои се одредуваат со т.н. правило на десна рака.

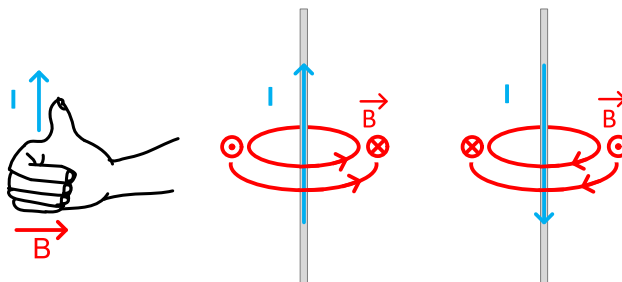
Кога спроводникот е поставен нормално на рамнината што ја набљудуваме, а насоката на електричната струја низ него е од рамнината кон нас, тогаш насоката на струјата се претставува со $\cdot$ (точка), додека ако насоката е од нашите очи кон рамнината, насоката на струјата се претставува со $\times$ (икс). Насоката на струјата се совпаѓа со насоката на испружениот палец на десната рака, додека правецот и насоката на векторот на магнетната индукција се совпаѓа со прстите на десната рака (правило на десна рака), прикажано како на сликава:



3.1 Вектор на магнетна индукција, одреден со правилото на десна рака, во случаи кога струјата тече нормално на набљудуваната рамнина, со насока од рамнината кон нас и од нас кон рамнината

Векторот на магнетната индукција лежи во правецот на тангентата на кружницата чиј центар се поклопува со тенкиот, прав и бескрајно долг спроводник.

Ако истите спроводници ги набљудуваме така што се поставени да лежат во набљудуваната рамнина, сликата ќе биде следна:



3.2 Вектор на магнетна индукција, одреден со правилото на десна рака, во два случаја кога струјата тече нагоре или надолу, а магнетната индукција е нормална на набљудуваната рамнина

Насоката на струјата се совпаѓа со испружениот палец на десната рака, а прстите претставуваат правец и насока на векторот на магнетната индукција.

ЗАДАЧИ за вежбање:

1. Пресметај колку е на магнетната индукција што се создава од прав спроводник низ кој што тече електрична струја од 8 A, на растојание 5 cm од спроводникот.

$$B = 0,000016[T] = 16[\mu T]$$

2. Колкава струја создава магнетна индукција од 20 mT, на растојание од 1 mm?

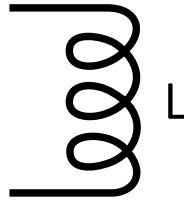
$$I = 100[A]$$

3. Пресметај го растојанието на коешто дејствува магнетна индукција од 16 mT, создадена од електрична струја со јачина од 8 A, која тече низ прав спроводник.

$$r = 0,0001[m] = 0,1[mm]$$

ВЕКТОР НА МАГНЕТНА ИНДУКЦИЈА ОД НАМОТКА НИЗ КОЈА ТЕЧЕ СТРУЈА

Во практиката честопати се користи и поинаква форма на спроводник која го носи името **калем**, односно **соленоид**. Калем е форма што се добива со намотување на спроводник околу некое цилиндрично тело. Калемот се означува со L , а неговиот симбол е:



3.3 Симбол на калем L

Бројот на цели намотувања, создавање цел круг, се вика број на намотки (навивки) и се означува со N , а должината што ќе се постигне со таквото намотување се бележи со l . Изразот за одредување на магнетната индукција во центарот на калем со кружен напречен пресек го одредил францускиот физичар Пује, по експериментален пат, и тој е:

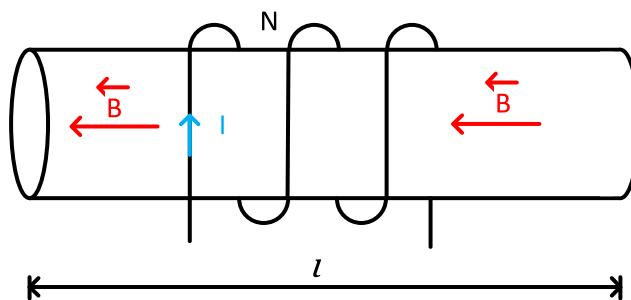
$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{l} [T] \quad (3.2)$$

$B [T]$ – магнетна индукција на калем, позната како **Пујеов закон**

N – број на намотки, бездимензионален број

$I [A]$ – јачина на електричната струја низ калемот

$l [m]$ – должина на калемот



3.4 Вектор на магнетна индукција, правец и насока кај калем

Правецот на векторот на магнетната индукција се совпаѓа со оската на калемот, а насоката се одредува со правилото на десна рака. Сега прстите на десната рака се насочуваат во насока на течење на струјата, а испружениот палец ја покажува насоката на магнетната индукција.

ЗАДАЧИ за вежбање:

4. Пресметај колку е интензитетот на магнетната индукција што се создава од калем со 100 густо намотани навивки, низ кои тече електрична струја со јачина од 20 А, а калемот е долг 25 mm.

$$/ B = 0,10048[T] \approx 100[mT] /$$

5. Колкава струја создава магнетна индукција од 2 μT , која тече низ 60 намотки на еден калем со должина од 1 mm?

$$/ I = 0,0000265[A] = 26,5[\mu A] /$$

6. Пресметај ја должината на калемот кој има 400 густо намотани навивки, низ кои тече струја од 10 mA, а создаваат магнетната индукција од 160 μT .

$$/ l = 0,0314[m] = 3,14[cm] /$$

МАГНЕТНА ПЕРМЕАБИЛНОСТ, РЕЛАТИВНА МАГНЕТНА ПЕРМЕАБИЛНОСТ

Досегашните набљудувања се однесуваат на магнетни полиња во вакуум. Константата μ_0 е карактеристика на магнетните својства во вакуумот. Во практиката, не секогаш средината е вакуум. Промените кои се манифестираат во средини кои не се вакуум биле проучувани подолг период и се дошло до заклучок дека правецот и насоката на магнетната индукција се исти, но нејзиниот интензитет се менува ако се промени средината на дејствување на магнетното поле. Величината што во себе го содржи влијанието на средината врз полето се нарекува **магнетна пермеабилност**, или **магнетна пропустливост** на материјалот, се бележи со μ , а се пресметува:

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r \left[\frac{H}{m} \right] \quad (3.3)$$

$\mu \left[\frac{H}{m} \right]$ – магнетна пермеабилност на материјал

$\mu_0 \left[\frac{H}{m} \right]$ – магнетна пермеабилност на вакуум

μ_r – **релативна магнетна пермеабилност** на материјал

Магнетната индукција од прав спроводник поставен во некој материјал со μ_r е:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r} [T]$$

Додека магнетната индукција кај калем кој е исполнет со некој материјал со μ_r е:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot N \cdot I}{l} [T]$$

Според вредноста на μ_r , односно според магнетните својства на материјалите, тие може да се поделат на:

- **Дијамагнетици**, каде што $\mu_r < 1$; тоа се материјали кои вршат намалување на магнетното поле;
- **Парамагнетици**, каде што $\mu_r \geq 1$; тоа се материјали кои имаат слични својства, односно не се разликуваат од вакуумот. Тука спаѓа и воздухот;
- **Феромагнетици**, каде што $\mu_r \gg 1$. Кај некои материјали, μ_r може да изнесува и повеќе од 100 000. Феромагнетиците се практично најупотребувани материјали

Кога во јадрото на калемот ќе се постави јадро од феромагнетен материјал, тоа околу себе создава магнетна индукција којашто е μ_r пати поголема од првобитната, кога јадрото било воздушно. Вака добиениот систем е **електромагнет**. Крајот на калемот од каде што излегува векторот на магнетната индукција се нарекува **северен пол (N)**, а делот од каде што влегува магнетната индукција се нарекува **јужен пол (S)** на магнетот. Електромагнет може да се изработи и така што на постојан магнет, густо ќе се намотаат N навивки низ коишто ќе се пушти да тече струја I . Вака создаденото магнетно поле треба да се совпадне со магнетното поле од постојаниот магнет и на овој начин да изврши негово засилување.

ЗАДАЧИ за вежбање:

7. Пресметај колку е интензитетот на магнетната индукција што се создава од калем со 100 густо намотани навивки, низ кој тече електрична струја со јачина од 6 А, ако должината на калемот е 8 mm, доколку:
- јадрото е воздушно
 - јадрото е од феромагнетен материјал чијашто релативна магнетна пермеабилност е 12000.
- Да се дискутира за решението.

$$\text{a) } B = 0,0942[\text{T}] = 94,2[\text{mT}]$$

$$\text{б) } B = 1130[\text{T}] = 1,13[\text{kT}] /$$

8. Колкава струја создава магнетна индукција од 40 mT, која тече низ 250 намотки на калем со железно јадро чија должина е 1 mm, со релативна магнетна пермеабилност од 2000?

$$/ I = 6,369 \cdot 10^{-5}[\text{A}] = 63,69 \cdot 10^{-6}[\text{A}] \approx 64[\mu\text{A}] /$$

9. Пресметај ја должината на калемот кој има 400 намотки, низ кои тече струја од 3 mA, кои создаваат магнетната индукција од 16 mT. Калемот има феромагнетно јадро со релативна магнетна пермеабилност од 800.

$$/ l = 0,07536[\text{m}] = 75[\text{cm}] /$$

3.2 ПОВРЗАНОСТ МЕЃУ ЕЛЕКТРИЧНИТЕ И МАГНЕТНИТЕ ВЕЛИЧИНИ

МАГНЕТЕН ФЛУКС

Некои електрични величини многу едноставно може да се опишат со помош на флукс на магнетна индукција, или само **магнетен флукс**. Ќе разгледаме едно магнетно поле опишано со својата магнетна индукција B , кое е опфатено со дадена површина со плоштина s . Бројот на линии на магнетната индукција кои минуваат низ дадена површина се нарекува магнетен флукс. Равенката за магнетен флукс е:

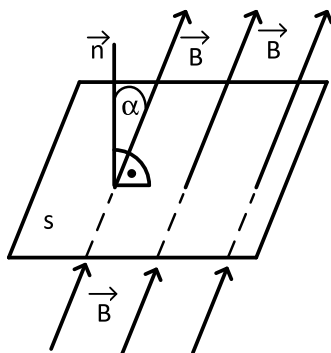
$$\Phi = B \cdot s \cdot \cos \alpha \text{ [Wb]} \quad (3.4)$$

$\Phi \text{ [Wb]}$ – магнетен флукс, единица мерка Wb-вебер

$B \text{ [T]}$ – магнетна индукција

$s \text{ [m}^2\text{]}$ – плоштина на површината низ којашто минува магнетната индукција

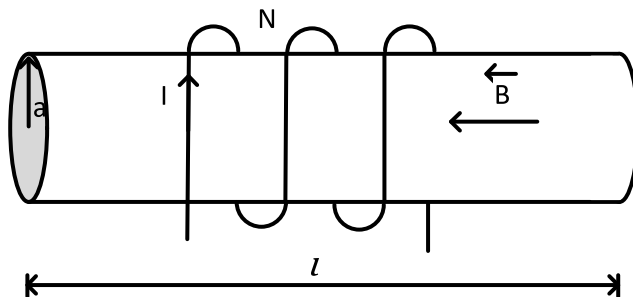
α – агол помеѓу векторот на магнетната индукција и нормалата на површината s ($\vec{n}$)



3.5 Магнетен флукс низ дадена површина

Со магнетниот флукс, всушност, ја искажуваме густината на магнетната индукција опфатена со дадена површина.

Кај калем, магнетниот флукс се одредува само во внатрешноста на калемот. Кај него аголот секогаш е $\alpha = 0^\circ$, а плоштината s е плоштина на кружниот напречен пресек.



3.6 Калем зададен со неговите димензии

Бидејќи има флуks низ секоја од намотките, тогаш плоштината s треба да се помножи и со бројот на намотки N . Магнетниот флуks кај калем кој има кружен напречен пресек, како на слика 3.6, е:

$$\Phi = B \cdot s \cdot N \cdot \cos 0^\circ = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot N \cdot I}{l} \cdot a^2 \cdot \pi \cdot N \text{ [Wb]}$$

Важна особина на магнетниот флуks е тоа што флуksот низ една затворена површина е секогаш нула.

ЗАДАЧИ за вежбање:

10. Да се пресмета магнетниот флуks кој е опфатен од затворена квадратна контура со страна од 1 cm, која е поставена во магнетно поле со магнетна индукција од 5 T, ако:

- а) аголот помеѓу нормалата на површината и векторот на магнетната индукција е 0°
- б) аголот помеѓу нормалата на површината и векторот на магнетната индукција е 90°
- в) аголот помеѓу нормалата на површината и векторот на магнетната индукција е 60°

Да се дискутира за решението.

$$\text{/ а) } \Phi = 0,0005 \text{ [Wb]} = 0,5 \text{ [mWb]}$$

$$\text{б) } \Phi = 0 \text{ [Wb]}$$

$$\text{в) } \Phi = 0,00025 \text{ [Wb]} = 0,25 \text{ [mWb]} \text{ /}$$

11. Колкава магнетна индукција е опфатена од затворена контура со плоштина $0,001 \text{ m}^2$, чија нормала е паралелна со векторот на магнетната индукција, а флуksот е 40 mWb?

$$\text{/ } B = 40 \text{ [T]} \text{ /}$$

12. Пресметај го магнетниот флуks во калем со 50 навивки, јадро долго 2 cm, со кружен напречен пресек чиј радиус е 1 mm, а низ навивките тече струја од 3 A.

$$\text{/ } \Phi = 0,00000147 \approx 1,5 \text{ [\mu Wb]} \text{ /}$$

13. Да се определи радиусот на кружен напречен пресек на калем со 120 навивки, низ кои тече струја од 8 A, чија должина е 1,2 cm, а флуksот низ калемот е 160 mWb.

$$\text{/ } a = 0,065 \text{ [m]} = 6,5 \text{ [cm]} \text{ /}$$

ЈАЧИНА НА МАГНЕТНО ПОЛЕ

Кога средината во којашто дејствува магнетната индукција не е вакуум, проучувањето на полето не е доволно. Поради тоа се воведува друга векторска величина, **вектор на јачина на магнетното поле**, $\vec{H}$. Неговиот интензитет се пресметува како:

$$H = \frac{B}{\mu} \left[\frac{A}{m} \right] \quad (3.5)$$

$H \left[\frac{A}{m} \right]$ – јачина на магнетно поле

$B [T]$ – магнетна индукција

$\mu \left[\frac{H}{m} \right]$ – магнетна пермеабилност на материјалот

Правецот и насоката на магнетното поле се совпаѓаат со правецот и насоката на магнетната индукција $\vec{B}$. Магнетното поле од прав спроводник е:

$$H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r} \left[\frac{A}{m} \right]$$

Додека обликот на интензитетот на магнетното поле од калем е:

$$H = \frac{N \cdot I}{l} \left[\frac{A}{m} \right]$$

ЗАДАЧИ за вежбање:

14. Да се пресмета магнетното поле од прав спроводник низ којшто тече струја од 10 A, на растојание од спроводникот:

- а) 1 cm
- б) 1 dm
- в) 1 m

Да се дискутира за решението.

$$\text{а) } H = 159[A/m]$$

$$\text{б) } H = 15,9[A/m]$$

$$\text{в) } H = 1,59[A/m] /$$

15. Колкава струја тече низ прав спроводник, кој на 2 mm раздалеченост создава магнетно поле со јачина од 4A/m?

$$/ I = 0,05[A] = 50[mA] /$$

16. Пресметај ја јачината на магнетното поле од воздушен калем со должина од 1 cm, кој има 500 навивки низ кои тече струја од 4 A.

$$H = 200000[A/m] = 200[kA/m]$$

17. Колкава електрична струја создава магнетно поле од $200A/m$, која протекнува низ воздушен калем со 800 навивки, чија должина е 2,5 cm?

$$I = 0,00625[A] = 6,25[mA]$$

18. Да се определи должината на калем кај кој се создава магнетно поле од $20A/m$, создадено од електрична струја со јачина 8 A, која протекнува низ 80 навивки.

$$l = 32[m]$$

ЕЛЕКТРОМАГНЕТНА СИЛА

Електромагнетната сила што дејствува на еден спроводник низ којшто тече струја I , кој е внесен во магнетно поле со магнетна индукција B , може да се изрази како:

$$F = I \cdot l \cdot B \cdot \sin \alpha \quad [N] \quad (3.6)$$

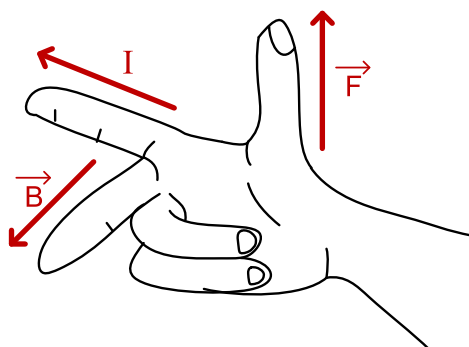
$F [N]$ – електромагнетна сила

$I [A]$ – јачина на електричната струја низ спроводникот

$l [m]$ – должина на спроводникот кој е внесен во магнетното поле кое има магнетна индукција B

$B [T]$ – магнетна индукција

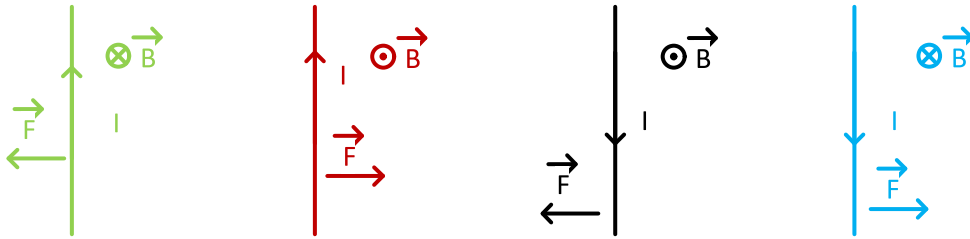
α – агол помеѓу спроводникот низ кој тече струјата I и магнетната индукција B



3.7 Правило на десна рака

Електромагнетната сила F е векторска величина ($\vec{F}$). Нејзиниот правец и насока се одредуваат со **правилото на десна рака**, така што испружениот среден прст на десната рака се совпаѓа со векторот $\vec{B}$, покажалецот се насочува во правец на течење на струјата I , додека палецот од десната рака ја дава насоката на силата $\vec{F}$.

Кога аголот α (пomeѓу насоката струјата и векторот на магнетна индукција) е 90° , (можни се 4 вакви случаи, прикажани на слика 3.8) се добива максимална вредност за електромагнетната сила што дејствува врз спроводникот:



3.8 Можни насоки на дејствување на електромагнетната сила во зависност од насоката на струјата и магнетната индукција

Кога во задача не се напоменува големината на аголот, се зема дека тој изнесува 90° .

ЗАДАЧИ за вежбање:

19. Да се пресмета силата што дејствува на прав спроводник со должина 2 dm, низ кој тече струја од 5 A, поставен во магнетно поле со магнетна индукција 30 T, ако аголот помеѓу струјата и индукцијата е:

- а) $\alpha = 0^\circ$
- б) $\alpha = 30^\circ$
- в) $\alpha = 90^\circ$

Да се дискутира за решението.

$$/ \text{ а) } F = 0[N]$$

$$\text{б) } F = 15[N]$$

$$\text{в) } F = 30[N] /$$

20. Колкава струја тече низ прав спроводник кој е долг 2 m, поставен во воздух, во магнетно поле со јачина 4 kA/m , а на него дејствува сила со јачина од 5 N?

$$/ I = 498[A] /$$

21. Пресметај ја јачината на магнетното поле кое предизвикува сила од 4 N, на прав спроводник со должина 3 dm, низ кој тече струја од 6 A.

$$/ H = 1769285,209[A/m] \approx 1,77[MA/m] /$$

3.3 ИНДУЦИРАНА ЕЛЕКТРОМОТОРНА СИЛА И ИНДУКЦИЈА

ИНДУЦИРАНА ЕЛЕКТРОМОТОРНА СИЛА

Во досега наученото, видовме како се создава магнетно поле под дејство на електрична струја, но можеме и да му го смениме правецот на овој процес, односно под дејство на магнетно поле да создадеме електрична струја. Создавањето електрично поле со помош на магнетно поле се нарекува **електромагнетна индукција**. Електромагнетната индукција експериментално ја проучувал англискиот физичар Фарадеј. Тој ја проучувал електромоторната сила што се создавала на краевите на една контура. Оваа електромоторна сила (ЕМС) се создава под дејство на електромагнетната индукција, поради што се вика **индуцирана електромоторна сила**.

Кога разгледуваме една затворена контура внесена во магнетно поле со магнетна индукција B_1 , контурата зафаќа некоја површина S_1 , односно низ неа постои магнетен флукс со вредност Φ_1 , во моментот на набљудување t_1 . Ако дојде до промена на флуксот, сега тој има вредност Φ_2 , во друг момент на набљудување t_2 , тогаш во контурата ќе се индуцира електромоторна сила со вредност:

$$e = E = -\frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t_2 - t_1} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} [V] \quad (3.7)$$

Симболот Δ ја означува разликата помеѓу две состојби. Количникот $\Delta\Phi/\Delta t$ се нарекува брзина на менување на флуксот. Според тоа, **Фарадеевиот закон** гласи: индуцираната електромоторна сила во една контура е еднаква на негативната брзина на менување на магнетниот флукс. Фарадеевиот закон ја дава вкупната индуцирана електромоторна сила во една контура, но не дава информации за нејзините поделни делови, поради што и не може да се примени на спроводник што не формира затворена контура.

Индуцираната електромоторна сила кај калем ја има истата форма, но таа важи само за една навивка. Бидејќи калемот има N навивки, вкупната индуцирана електромоторна сила ќе биде N пати поголема:

$$e = E = -N \cdot \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t_2 - t_1} = -N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} [V]$$

ЛЕНЦОВ ЗАКОН

Ленцовото правило дава практично определување на насоката на индуцираната електромоторна сила. Примената на ова правило е поврзано со создавање на електрична струја под дејство на индуцираната електромоторна сила.

Ленцовото правило, всушност, ја објаснува електричната струја што се создава под дејство на индуцираната електромоторна сила создадена од магнетно поле, која се стреми да го одржи непроменет флуксот кој е опфатен со затворената контура, односно полето создадено од струјата се стреми да ја поништи причината за нејзиното создавање.

Индуцираната електромоторна сила се добива со правилото на десна рака. Испружениот палец од десната рака се става во насока на векторот на магнетната индукција $\vec{B}$, прстите од раката ја даваат насоката на индуцираната електромоторна сила, односно на електричната струја што ќе протече како нејзина последица. Тие две имаат иста насока. Кога доаѓа до зголемување на магнетниот флуks, поради знакот $-$ (минус), насоката на индуцираната електромоторна сила е во спротивна насока од прстите, додека при намалување на магнетниот флуks, насоката на прстите се совпаѓа со насоката на индуцираната електромоторна сила.

Фарадеевиот закон покажува дека ќе се индуцира електромоторна сила ако дојде до појава на промена на магнетниот флуks. Магнетниот флуks може да се промени на три начини, и тоа:

- Системот е во мирување (статички систем); во еден електромагнет протекнува променлива струја; тој создава променливо магнетно поле, а со тоа и променлив флуks, и ова се нарекува **статичка индукција**;
- Системот има движење (динамички систем); контурата се движи праволиниски или ротира, поради што се затвора променлива вредност на флуksот и ова е **динамичка индукција**;
- Комбинација на овие две индукции, која се вика **комбинирана индукција**.

СТАТИЧКА ИНДУЦИРАНА ЕЛЕКТРОМОТОРНА СИЛА

За статичка електромагнетна индукција, како што напоменавме претходно, потребно е да имаме еден електромагнет низ чии намотки ќе пуштиме да протекнува променлива струја. Овој електромагнет околу себе ќе создаде магнетно поле чијашто магнетна индукција B ќе има променлива вредност. Ако во ова поле се внесе затворена контура со плоштина s , таа ќе опфати флуks Φ , кој поради променливоста на B , и самиот ќе има временски променлива вредност. Според Фарадеевиот закон, како последица од негативната брзина на менување на магнетниот флуks, во контурата ќе се индуцира електромоторна сила. Најчесто, и самата индуцирана електромоторна сила ќе биде временски променлива величина.

Поради тоа што контурата во овој пример мирува, велиме системот е статичен и настанала **статичка индукција**, односно се појавила **статичка индуцирана електромоторна сила**.

Некои микрофони во својата работа ја користат статичката индукција.

ДИНАМИЧКА ИНДУЦИРАНА ЕЛЕКТРОМОТОРНА СИЛА

Кога во хомогено магнетно поле со магнетна индукција B ќе внесеме затворена контура со плоштина s , таа ќе зафати некој магнетен флуks Φ . Кога оваа контура ќе ја задвижиме, доаѓа до промена на интензитетот на магнетната индукција, или ако ја заротираме контурата, се менува аголот α . Под дејство на оваа промена се појавува индуцирана електромоторна сила во контурата. Поради движењето во системот, ова е **динамичка индукција**, односно се појавила **динамичка индуцирана електромоторна сила**.

Принципот на создавање на електрична струја со динамичка индукција се користи во хидроцентралите, термоцентралите, нуклеарните централи, ветерниците. Електроцентралите го претвораат во електрична енергија механичкото движење на водата што паѓа на перките, водената пареа или ветерот кои ги задвижуваат перките. Перките се поврзани со подвижна затворена контура, контурата е поставена во магнетно поле и во неа се индуцира електромоторна сила, со што се добива електрична енергија. Механичкото движење, односно механичката енергија се претвора во електрична кога на краевите на контурата којашто се движи ќе се појави индуцирана електромоторна сила.

ИНДУЦИРАНА ЕЛЕКТРОМОТОРНА СИЛА НА САМОИНДУКЦИЈА И МЕЃУСЕБНА ИНДУКЦИЈА

Кај статичката индукција имаме едно коло кое најчесто се состои од електромагнет, односно од еден калем низ којшто протекува променлива електрична струја што создава променливо магнетно поле. Магнетното поле ќе формира променлив магнетен флукс во затворената контура, во којашто ќе се индуцира електромоторна сила. Индуцираното електрично поле сега ќе делува и на примарното коло што го создава променливото магнетно поле.

Овие појави се викаат индукции. Појавата на индуцирана електромоторна сила во едно коло, поради менување на јачината на струјата во друго коло, се нарекува **меѓусебна индукција**, додека создавањето на индуцирана електромоторна сила во коло, како последица на промената на јачината на струјата во истото коло, се нарекува **самоиндукција**.

Индуцираната електромоторна сила којашто е последица на самоиндукција се нарекува електромоторна сила на саминдукција e_s , а според Фарадеевиот закон се пресметува како:

$$e_s = - \frac{\Delta \Phi_s}{\Delta t} [V]$$

$e_s [V]$ – електромоторна сила на самоиндукција

$\Delta \Phi_s [Wb]$ – промената на магнетниот флукс зафатен од истото коло

Самоиндуцираната електромоторна сила има насока што се одредува со Ленцовото правило. Според ова, произлегува дека електромоторната сила во колото во коешто електричната струја се зголемува има спротивна насока од струјата, и обратно, во коло во коешто електричната струја се намалува, електромоторната сила од самоиндукција има насока на струјата.

Последица од самоиндукцијата може да биде појава на нагла промена на јачината на струјата. Самоиндукцијата може да предизвика големи технички проблеми, кои особено се воочливи при брзо исклучување на јаки електрични струи. Поради брзите промени на јачината на струјата, може да се појават и високи електромоторни сили на самоиндукција. Овие високи електромоторни сили можат да ги оштетат уредите, да предизвикаат пробив меѓу контактите на прекинувачот, што се манифестира како интензивна електрична искра.

3.4 ИНДУКТИВНОСТ И ЕНЕРГИЈА

КОЕФИЦИЕНТ НА СОПСТВЕНА ИНДУКТИВНОСТ

Интензитетот на магнетното поле, односно на магнетната индукција, е правопрпорционален со јачината на електричната струја од којашто се создадени. Односно, истата пропорционалност постои и со магнетниот флукс. Нивниот количник е:

$$L = L_s = \frac{\Phi_s}{I} [H] \quad (3.8)$$

$L [H]$ – коефициент на самоиндукција, или индуктивност

$\Phi_s [Wb]$ – сопствен магнетен флукс

$I [A]$ – јачина на електричната струја

Индуктивноста кај еден калем, со кружен напречен пресек, како на слика 3.6 е:

$$B = \frac{\mu \cdot N \cdot I}{l} [T]$$

$$\Phi_s = \Phi = B \cdot N \cdot s = \frac{\mu \cdot N \cdot I}{l} \cdot N \cdot a^2 \cdot \pi [Wb]$$

$$L = \frac{\Phi}{I} = \frac{\frac{\mu \cdot N \cdot I}{l} \cdot N \cdot a^2 \cdot \pi}{I} = \frac{\mu \cdot N^2}{l} \cdot a^2 \cdot \pi [H]$$

Коефициентот на самоиндукција **не** зависи од електричните величини, туку од магнетните својства на материјалот од којшто е изработено калемското јадро, геометријата на системот, неговата должина, напречниот пресек и од бројот на намотките.

Користејќи ги коефициентот на самоиндукција, неговата дефиниција и Фарадеевиот закон, за индуцираната електромоторна сила на самоиндукција можеме да запишеме:

$$e = e_s = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{L \cdot \Delta I}{\Delta t} = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} [V]$$

ЗАДАЧИ за вежбање:

22. Јачината на електричната струја што тече низ калемот е 5 А, а низ калемот се создава магнетен флукс од 30 Wb. Да се пресмета индуктивноста на калемот.

$$/ L = 6[H] /$$

23. Да се пресмета индуктивноста (коефициентот на самоиндукција) кај калем со воздушен кружен напречен пресек чиј радиус е 1 mm, со намотани 400 навивки и неговата должина изнесува 2 cm.

$$/ L = 0,00003155[H] = 31,55[\mu H] /$$

24. Да се пресмета должината на калемот кој има индуктивност од 2 mH. Калемот има 300 густо намотани навивки, а напречниот пресек е со радиус од 1 cm.

$$/ l = 0,0177[m] = 1,77[cm] /$$

25. Пресметај го радиусот на кружниот напречен пресек кај калем со индуктивност од 250 μ H, чија должина е 2 dm, а бројот на навивки изнесува 180.

$$/ a = 0,01978[m] = 19,78[mm] \approx 20[mm] /$$

26. Одреди го бројот на навивки на калем чија индуктивност изнесува 25 mH, радиусот на неговиот кружен напречен пресек е 4 cm, а должината е 0,8 dm.

$$/ N^2 = 316949,9777; N = 563 /$$

27. Низ калем со индуктивност од 9 H, во период од 2 s настанува промена на струјата од 4 A. Да се пресмета индуцираната електромоторна сила.

$$/ e_s = -18[V] /$$

КОЕФИЦИЕНТ НА МЕЃУСЕБНА ИНДУКТИВНОСТ

Кога имаме две електрични кола низ кои течат две електрични струи I_1 и I_2 , магнетниот флуks низ првото коло ќе биде создаден од струјата од првото коло, но и од струјата од второто коло. Флуksот кој се создава од првата струја во првото коло ќе го означиме со Φ_{11} , а флуksот создаден од втората струја којашто влијае на првото коло ќе биде Φ_{12} . Вкупниот флуks во првото коло ќе биде:

$$\Phi_1 = \Phi_{11} + \Phi_{12} = L_1 \cdot I_1 + L_2 \cdot I_2 [Wb]$$

Пропорционалноста помеѓу магнетниот флуks Φ_{12} и струјата I_2 е:

$$L_{12} = \frac{\Phi_{12}}{I_2} [H]$$

$L_{12} [H]$ – коефициент на меѓусебна индукција

$\Phi_{12} [Wb]$ – меѓусебен флуks, флуks во првото коло што го создава струјата I_2

$I_2 [A]$ – јачина на електричната струја во струјното коло

Исто како коефициентот на самоиндукција, и коефициентот на меѓусебна индукција **не** зависи од струјата, туку зависи од средината, обликот и од геометријата на колата, како и од нивната меѓусебна положба.

$$L_{12} = \frac{\Phi_{12}}{I_2} = \frac{\frac{\mu \cdot N_2 \cdot I_2}{l} \cdot N_1 \cdot a^2 \cdot \pi}{I_2} = \frac{\mu \cdot N_2 \cdot N_1}{l} \cdot a^2 \cdot \pi [H]$$

$$L_{21} = \frac{\Phi_{21}}{I_1} = \frac{\frac{\mu \cdot N_1 \cdot I_1}{l} \cdot N_2 \cdot a^2 \cdot \pi}{I_1} = \frac{\mu \cdot N_1 \cdot N_2}{l} \cdot a^2 \cdot \pi [H]$$

$$L_{12} = L_{21} = M$$

Коефициентот на меѓусебна индукција некогаш се бележи и со M . Во практиката, коефициентот на меѓусебна индукција се пресметува и како:

$$L_{12} = L_{21} = M = k \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2} [H] \quad (3.9)$$

k – коефициент на индуктивна спрега, бездимензионален број ($k \leq 1$), а неговата вредност зависи од меѓусебното растојание и положба на двете кола.

За колата кои имаат заедничко магнетно поле велиме дека се **индуктивно спрегнати кола**. Во практиката, оваа појава е искористена кај трансформаторите. Трансформаторите се уреди кој коишто на заедничко јадро се поставени два калема. Кај нив, кога низ првиот калем ќе протече наизменична струја, тој во јадрото создава магнетно поле чијашто магнетна индукција има наизменичен карактер. Вториот калем е опфатен со влијанието на магнетната индукција од првиот калем, бидејќи се наоѓа на истото јадро. Ова ќе оформи магнетен флукс низ вториот калем, кој предизвикува индуцирање на електромоторна сила на неговите краevi.

ЗАДАЧИ за вежбање:

28. На заедничко јадро со кружен напречен пресек со радиус 1,6 mm и должина од 12 cm, намотани се два калема со 150 и 250 навивки. Да се одреди коефициентот на меѓусебна индуктивност.

$$/ L_{12} = 0,000003155[H] = 3,155[\mu H] /$$

29. Да се пресметаат бројот на навивките на вториот калем, ако првиот има 400 навивки, намотани на воздушно јадро со кружен напречен пресек со радиус 3 mm, а должината на јадрото е 4 cm. Коефициентот на меѓусебна индуктивност е 20 mH.

$$/ N_2 = 56347 /$$

30. Да се пресмета должината на јадрото на калем кој има коефициент на меѓусебна индуктивност од 5 mH. Намотките се со 400 и 200 густо намотани навивки, а напречниот пресек е со радиус од 8 mm.

$$/ l = 0,004[m] = 4[mm] /$$

31. Пресметај го радиусот на кружниот напречен пресек, кај калем со коефициент на меѓусебна индуктивност од 5 μH , чијашто должина е 6 dm, а бројот на навивките изнесува 140 и 160.

$$/ a = 0,0058[m] = 5,8[mm] /$$

3.5 ЕЛЕКТРОМАГНЕТНА ЕНЕРГИЈА

Кога се вклучува калем во коло, електромоторната сила на изворот се стреми да воспостави електрична струја којашто зависи од отпорот во колото. Калемот се спротивставува на ова со индуцирање на електромоторна сила, односно изворот мора да изврши одредена работа за да ја совлада индуцираната ЕМС.

Енергијата којашто се претвора во енергија на магнетно поле е, всушност, промената на струјата во колото што ќе иницира појава на електромоторна сила на самоиндукција. Овие промени се одвиваат во голем број чекори, при што математичкиот апарат за оваа пресметка е комплициран. Формулата за електромагнетна енергија кај калем е:

$$W_m = \frac{\Phi \cdot I}{2} [J] \quad (3.10)$$

$W_m [J]$ – енергија на електромагнетното поле

$\Phi [J]$ – флуксот зафатен со калемот

$I [A]$ – електричната струја низ калемот

Друга форма за пресметување на магнетната енергија е:

$$W_m = \frac{L \cdot I^2}{2} [J]$$

$L [H]$ – коефициент на самоиндукција на калемот

ЗАДАЧИ за вежбање:

32. Да се пресмета магнетната енергија на калем со индуктивност 7 H, низ којшто протекува струја со јачина 8 A.

$$/ W_m = 224[J] /$$

33. Да се пресмета јачината на струјата што протекува низ калем со индуктивност од 10 mH, во кој се развива магнетна енергија од 31,25 mJ.

$$/ I = 2,5[A] /$$

34. Калем со должина на јадрото 12 cm и радиус на напречниот пресек од 2 mm, има 200 навивки. Да се пресмета магнетната енергија што се развива во него, ако низ намотките протекува струја со јачина 8 A.

$$/ L = 5,26[\mu H]; W_m = 0,000168[J] = 168[\mu J] /$$

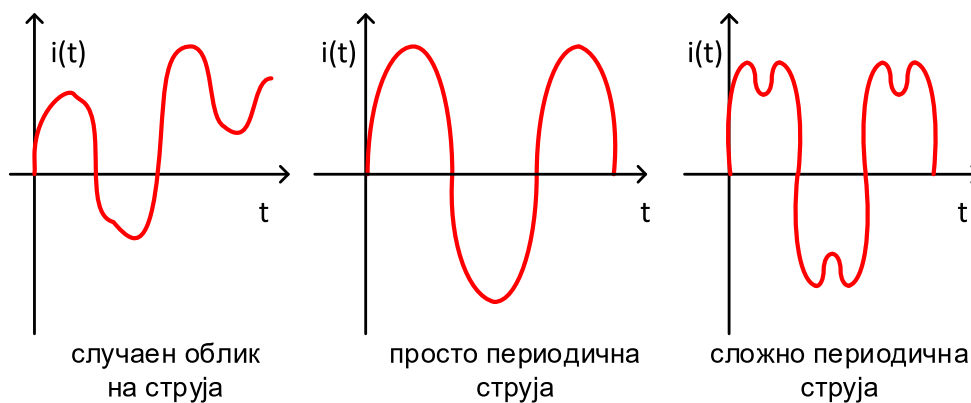
4. НАИЗМЕНИЧНИ СТРУИ

4.1 НАИЗМЕНИЧНИ ВЕЛИЧИНИ, НИВНИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ И ФАЗОРИ

МОМЕНТАЛНА ВРЕДНОСТ НА НАИЗМЕНИЧНАТА ВЕЛИЧИНА

Пронајдоците поврзани со наизменичните величини и можноста тие да се произведат, дистрибуираат и да се применат со голема економичност, ги ставиле наизменичните струи во поширока употреба во однос на постојаните.

Електричниот напон на краевите на еден потрошувач предизвикува електрично поле кое е **правопропорционално** зависно од напонот и од неговите карактеристики. Тоа значи дека со воспоставување на променлив напон, ќе се појави и променливо електрично поле, кое ќе предизвика протекување на променлива електрична струја. Кога електричната струја ја менува својата јачина и насока, станува збор за **наизменична струја**. За наизменичната струја велиме дека има променлив облик, во зависност од времето t . Ваквите величини ги прикажуваме на дијаграм, каде што апцисната (x -оска) го претставува времето t , додека ординатната (y -оска) ја претставува наизменичната величина. Величината што може да се отчита на ординатната оска во секој момент, се нарекува **моментална вредност**.



4.1 Облици на променлива електрична струја

Наизменичната струја може да има:

- Случаен облик и различна вредност во секој момент од времето. Ваков облик имаат говорот, музиката, звуците во природата;
- Периодичен облик, кога во одреден временски интервал се повторува обликот и вредноста на наизменичната струја. Ваков облик има напојувањето во електродистрибутивната мрежа. Периодичните струи се делат во свои две категории:
 - ❖ **Просто периодични струи** – наизменична струја чија промена се одвива по синусен закон;

❖ **Сложенопериодични струи**, кои имаат периодичност, но немаат синусоиден облик. Овие сложенопериодични струи секогаш можат да се претстават како збир на повеќе простопериодични функции.

Простопериодичната наизменична струја од нашата мрежа има свои позитивни и негативни временски делови. Обележувањето во едно наизменично коло за електричната струја, како и за електричниот напон, ќе има свои насоки, односно ќе се обележуваат +, а оваа насока се нарекува **референтна** насока и одговара на позитивниот дел од наизменичните величини.

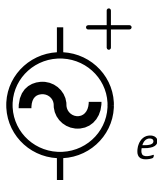
Наизменичната струја е насочено осцилаторно движење на електричните честички во спроводникот. Кај наизменичните струи, електроните **не** се движат од едниот пол на генераторот кон другиот, како кај постојаните струи, туку осцилираат помеѓу две главни положби, поточно, околу својата средна вредност.

КАРАКТЕРИСТИКИ НА НАИЗМЕНИЧНИ ВЕЛИЧИНИ

Во електротехниката, од најголема важност се простопериодичните струи. Кога еден спроводник се движи во магнетно поле со магнетна индукција B , во него се индуцира електромоторна сила со облик:

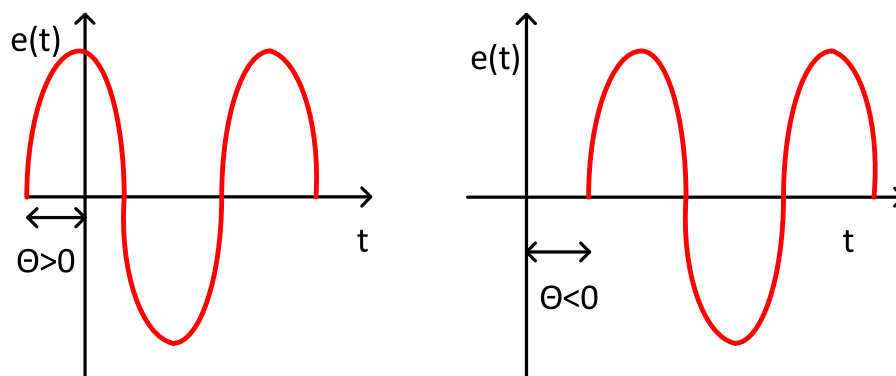
$$e = E_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \theta) [V] \quad (4.1)$$

Симболот со којшто се претставува еден извор на наизменична, простопериодична величина е:



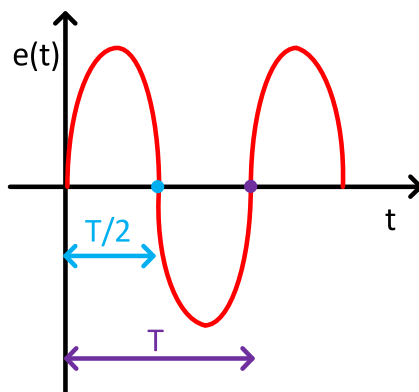
4.2 Симбол на извор на наизменична електромоторна сила

Изразот во заградата $(\omega \cdot t + \theta)$ се нарекува **фаза на наизменичната величина**, а аголот θ (тета), **почетна фаза**. Фаза е грчки збор кој значи *изглед*, односно фазата го опишува изгледот на наизменичната величина. Почетната фаза кај напоните се бележи со θ , додека почетната фаза кај струите се бележи со ψ (пси). Почетната фаза, како што кажува нејзиното име, го одредува местото на почнување на синусоидата. Ако почетната фаза е позитивна, синусоидата почнува лево од координатниот почеток за вредноста на фазата, односно ако почетната фаза е негативен број, почетокот на синусоидата е поместен надесно, за вредноста на фазата.



4.3 Почетна фаза кај простопериодична величина (напон)

Времето потребно за наизменичната величина да направи една осцилација се нарекува **периода**. Периодата може да се дефинира и како време потребно за да се изврши целосна промена на интензитетот и насоката. Периодата се бележи со буквата T , а се мери во секунди $T[s]$. Половина од ова време се нарекува полупериода.



4.4 Периода и полупериода кај простопериодична величина (напон)

Кај синусниот сигнал во првата полупериода, промената се врши во една насока, а во втората полупериода промената е во спротивната насока. Наизменичната величина во една периода двапати ја менува својата насока. Периодот на еден синусен сигнал T , изразено во радијани е $T = 2 \cdot \pi [rad]$.

Бројот на периоди во единица време зависи од брзината со којашто се менува синусоидата, односно од времетраењето на една перода. Целиот број на промени, односно бројот на синусоиди во една секунда се нарекува **фреквенција**, а се бележи со f и се мери во Hz (херци).

$$f = \frac{1}{T} [Hz] \quad (4.2)$$

Фреквенција од $1 Hz$ значи една синусоида, една промена во времетраење од 1 секунда.

Фреквенцијата на напонот на мрежата за напојување во Европа е стандардна и изнесува $50 Hz$, а пак во САД изнесува $60 Hz$. Како илустрација, човечкото уво регистрира фреквенции од $20 Hz$, па сè до $20 kHz$, радиодифузијата е во фреквентен опсег од $100 kHz$ до $1000 MHz$, телевизијата е во опсег од $47 MHz$ до $500 MHz$, радарите работат во опсег од $1 GHz$, па сè до $20 GHz$.

Брзината со којашто се опишува еден агол, односно времето потребно да се оствари тој агол, се нарекува **аголна брзина**, а се бележи со ω (омега) и се мери во rad/s (радијани во секунда).

$$\omega = \frac{\alpha}{t} \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

Аглите во електротехниката се искажуваат во rad (радијани). Еден цел круг, односно 360° претставуваат 2π (rad). Поврзаноста на аголот во степени со оној во радијани е:

$$\alpha[\text{rad}] = \frac{\alpha[^\circ] \cdot \pi}{180}$$

Кога за α би замениле едно цело завртување, односно 2π , за времето тоа е една периода T , се добива:

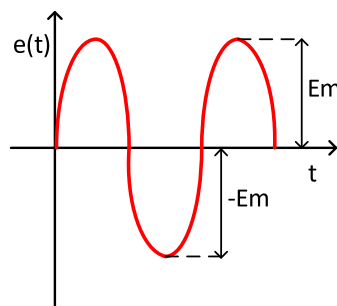
$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} = 2 \cdot \pi \cdot f \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \quad (4.3)$$

Овој израз ја одредува аголната, или фазна брзина, од носно познато како **кржна фреквенција**. Ако во изразот за индуцирана електромоторна сила, го замениме ω , ќе се добие изразот:

$$e = E = E_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \theta) = E_m \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \theta) = E_m \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T} + \theta\right) [V]$$

Вредноста набљудувана во една простопериодична величина е постојано со различна вредност. Вредноста во некој момент, време, се нарекува **моментна вредност**. Моментните вредности се бележат со мали букви од латиницата. За напон е u , за електрична струја е i , а за индуцирана електромоторна сила е e .

Кога се разгледува една простопериодична величина во една позитивна полупериода, се забележува дека има вредност која е поголема од сите останати моментални вредности. Оваа најголема вредност се нарекува **максимална вредност**, или во физиката и математиката позната како **амплитуда**. Ознаката на максималната вредност е со голема латинична буква и со индекс m , амплитуда на напонот е U_m , на електричната струја е I_m , а на индуцираната електромоторна сила E_m . Истата вредност се појавува и во негативната полупериода и кај неа има најмала вредност, односно поради својата негативна вредност, амплитудата во негативната полупериода претставува најмала вредност.



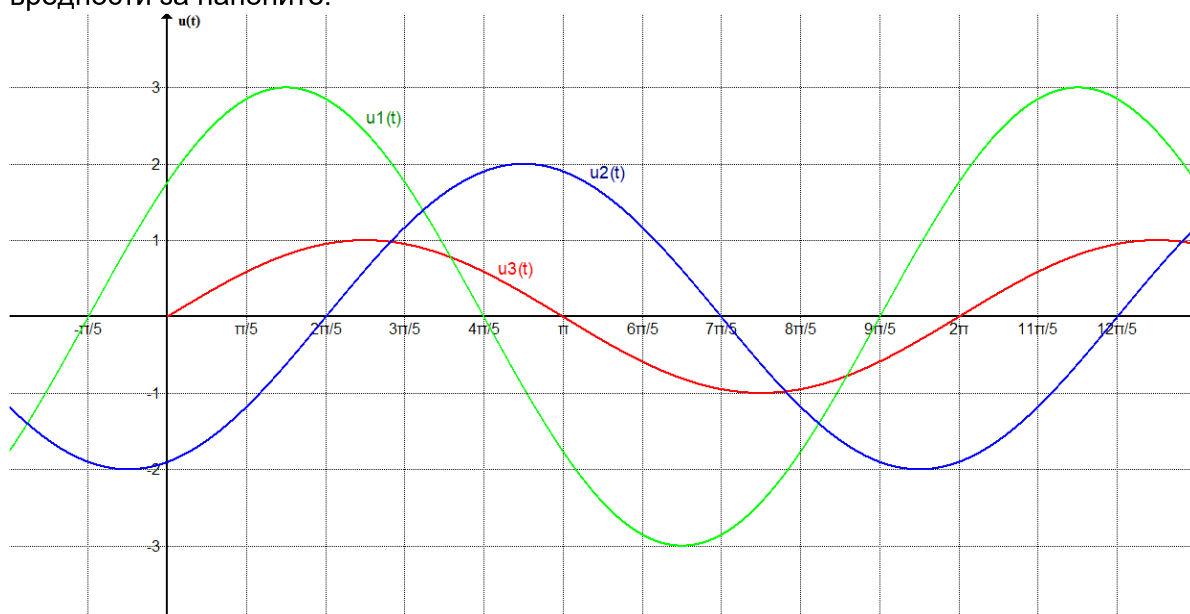
4.5 Амплитуда на простопериодичен сигнал

За целосно определување на една наизменична величина, потребно е да се знаат нејзините карактеристични величини:

- максимална вредност
- фреквенција, односно периода
- почетна фаза

ЗАДАЧИ за вежбање:

- Да се нацрта синусен сигнал на следниве простопериодични сигнали:
 - $u_1 = 10 \sin(\omega \cdot t + 90^\circ)$
 - $u_2 = 8 \sin(\omega \cdot t - 45^\circ)$
 - $u_3 = 5 \sin(\omega \cdot t + 180^\circ)$
 - $u_4 = 15 \sin(\omega \cdot t)$
- Од цртежот да се прочитаат вредностите за максималната вредност, периодата, фреквенцијата и почетната фаза на напонот и да се испишат моменталните вредности за напоните.



$$/ u_1(t) = 3 \cdot \sin\left(1 \cdot t + \frac{\pi}{5}\right) [V], u_2(t) = 2 \cdot \sin\left(1 \cdot t - \frac{2\pi}{5}\right) [V], u_3(t) = 1 \cdot \sin(1 \cdot t) [V], /$$

ЕФЕКТИВНА ВРЕДНОСТ

Во секојдневната примена, многу е непрактично да се работи со моменталните вредности бидејќи тие имаат различна вредност во секој момент од времето. Амплитудата исто така е непрактична, поради нејзиното појавување од само двапати во една периода. Најпрактично е да се работи со топлотното дејство на струите, бидејќи тоа не е поврзано ниту со фреквенцијата, ниту со правецот и насоката на струјата, а тоа е енергија што се троши за совладување на отпорноста на потрошувачот. Секогаш може да се избере еднонасочна струја којашто низ истиот потрошувач ќе ја развие истата топлотна енергија како и наизменичната струја. За овие струи велíme дека се еднакви според своето топлотното дејство.

Ефективна вредност на наизменичната струја е онаа еквивалентна струја со константна јачина, којашто ќе развие исто количество топлина како и наизменичната струја низ истиот потрошувач.

Ефективните вредности на наизменичните величини се означуваат со големи латинични букви. За напон е U , за електрична струја е I , а за индуцирана електромоторна сила е E . Универзалните инструменти за мерење ги покажуваат ефективните вредности на наизменичните величини.

Моќноста на еден потрошувач, којашто се претвора во топлина во простопериодичен режим е:

$$P = R \cdot i^2 = R \cdot I_m^2 \cdot \sin^2(\omega \cdot t) [W]$$

Оваа моќност е еднаква на плоштината на еден правоаголник со основа T и висина $I_m^2/2$, која се развива на потрошувач R . Оттука се добива:

$$P = \frac{I_m^2}{2} \cdot T \cdot R [W]$$

Топлинската енергија генерирана при протекување на еднонасочна струја низ отпорник, за даден временски интервал е дадена со следната равенка:

$$P = I^2 \cdot R \cdot T [W]$$

Овие две моќности треба да се еднакви:

$$\frac{I_m^2}{2} \cdot T \cdot R = I^2 \cdot R \cdot T$$

од што произлегува:

$$I^2 = \frac{I_m^2}{2}$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707 \cdot I_m [A] \quad (4.4)$$

Дефинираме дека ефективната вредност е $\sqrt{2}$ пати помала од максималната вредност на наизменичната големина, односно од нејзината амплитуда.

Ефективната вредност на напонот е:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} [V]$$

Соодветно, на индуцираната електромоторна сила е:

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} [V]$$

Честопати е попрактично моменталната вредност на наизменичните големина да се прикаже преку ефективните вредности:

$$e = E \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \theta) [V]$$

$$u = U \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \theta) [V]$$

$$i = I \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi) [A]$$

ЗАДАЧИ за вежбање:

3. Да се прочита максималната вредност на секој од зададениве напони и потоа, за секој од нив да се пресмета ефективната вредност:

а) $u_1 = 10 \sin(\omega \cdot t + 90^\circ)$

б) $u_2 = 8 \sin(\omega \cdot t - 45^\circ)$

в) $u_3 = 5 \sin(\omega \cdot t + 180^\circ)$

г) $u_4 = 15 \sin(\omega \cdot t)$

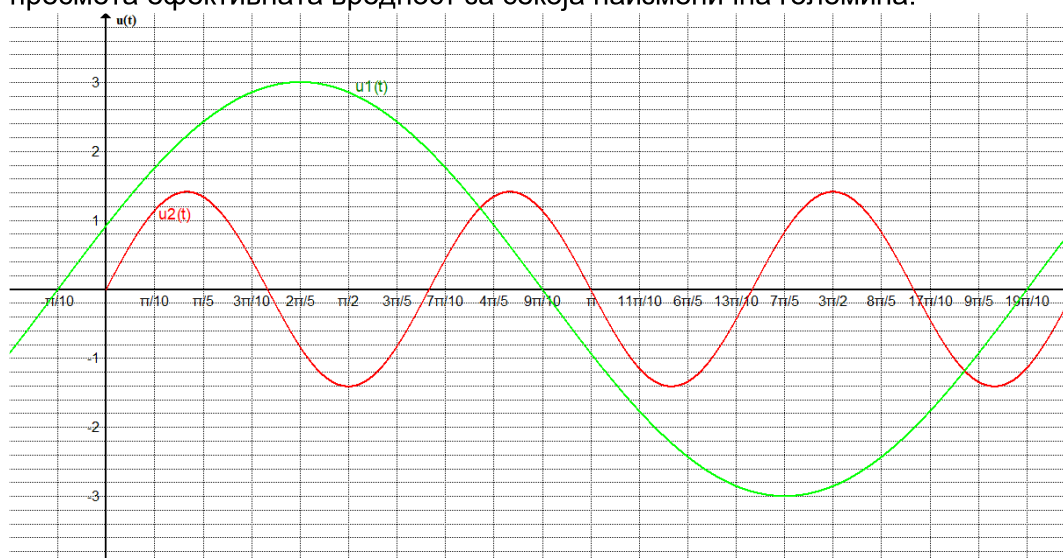
/ а) $U_{1m} = 10V$, $U_1 = 7V$

б) $U_{2m} = 8V$, $U_2 = 5,66V$

в) $U_{3m} = 5V$, $U_3 = 3,5V$

г) $U_{4m} = 15V$, $U_4 = 10,6V$ /

4. Од цртежот да се прочитаат вредностите за максималната вредност, периодата, фреквенцијата и почетната фаза, да се напишат моменталните изрази и да се пресмета ефективната вредност за секоја наизменична големина.



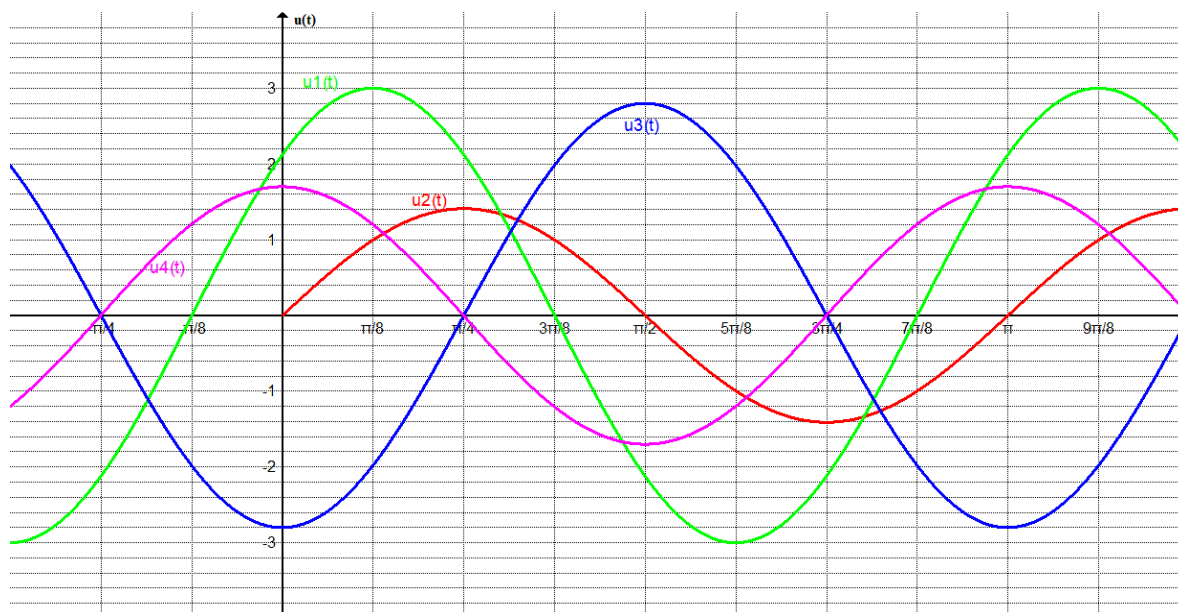
/ $U_{1m} = 3[V]$, $T_1 = 2 \cdot \pi$, $f_1 = 0,16[H_z]$, $U_1 = 2,13[V]$, $\theta_1 = \frac{\pi}{10}$, $u_1(t) = 3 \cdot \sin\left(1 \cdot t + \frac{\pi}{10}\right) [V]$

$U_{2m} = 1,4[V]$, $T_2 = \frac{2 \cdot \pi}{3}$, $f_2 = 0,48[H_z]$, $U_2 = 1[V]$, $\theta_2 = 0^\circ$, $u_2(t) = 1,4 \cdot \sin(3 \cdot t) [V]$ /

ФАЗОРИ И ФАЗНИ РАЗЛИКИ

Простопериодичните величини досега се прикажани само во временски облик, како синусоиди. Овој начин на прикажување е лесно пристапен и од него директно може да се отчитаат моментната вредност, амплитудата, периодот, фреквенцијата и почетната фаза. Овој начин е погоден кога станува збор за една величина, но ако зборуваме за поголем број напони или струи, ова е непрактично. Затоа, практично, многу е поедноставно да се премине во прикажување на наизменичните величини со вектори, со т.н. метод на векторски дијаграми. За разлика од векторските величини (како брзина $\vec{V}$, сила $\vec{F}$), каде што

должината одговара на интензитетот на векторот, а неговата насока и правец со насоката и правецот на дејствување на физичката големина, кај векторскиот дијаграм векторот е вртлив, брзината на векторот одговара на аголната брзина ω , должината на векторот на ефективната вредност на наизменичната величина (ова е европски стандард, додека во американската литература должината на векторот одговара на максималната вредност), а аголот што го зафаќа векторот со хоризонталата одговара на почетната фаза на наизменичната величина. Кога почетната фаза има позитивна вредност, векторот се црта над фазната оска, а ако има негативна вредност, се црта под фазната оска.

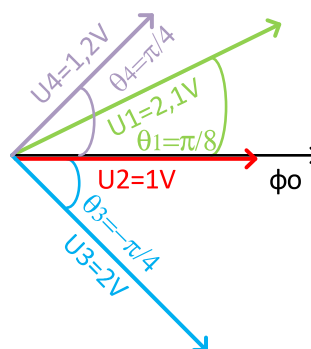


$$u_1 = 2,1 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \pi/8) [V]$$

$$u_2 = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t) [V]$$

$$u_3 = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t - \pi/4) [V]$$

$$u_4 = 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \pi/4) [V]$$



4.6 Наизменични величини: графички приказ, моментални вредности и нивни фазори

Вртливиот вектор како средство за прикажување во електротехниката се нарекува **фазор**. Хоризонталата којашто одговара на позитивниот дел на x-оската се нарекува **фазна оска** и се обележува како ϕ_0 .

На еден цртеж, со една фазна оска, можеме да прикажеме поголем број наизменични величини со фазори. Аголот којшто се формира помеѓу два фазора се нарекува **фазна разлика**. За две наизменични величини велеме дека се во фаза кога фазната разлика помеѓу нив е нула, или се фазно поместени кога фазната разлика е различна од нула.

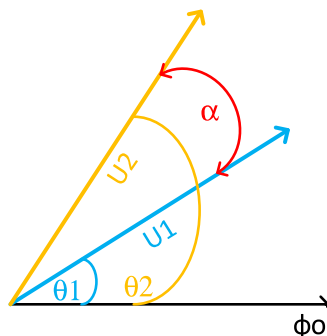
Да го разгледаме случајот на два напона:

$$u_1 = U_{1m} \cdot \sin(\omega \cdot t + \theta_1) [V]$$

$$u_2 = U_{2m} \cdot \sin(\omega \cdot t + \theta_2) [V]$$

Фазната разлика претставува:

$$\alpha = (\omega \cdot t + \theta_1) - (\omega \cdot t + \theta_2) = \omega \cdot t + \theta_1 - \omega \cdot t - \theta_2 = \theta_1 - \theta_2$$

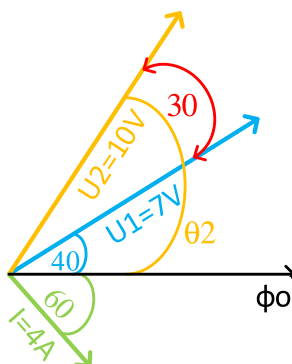


4.7 Фазна разлика α , помеѓу два напона

Фазна разлика е агол помеѓу две величини прикажани фазорски, фазна разлика помеѓу две истородни величини, два напони е дадена на слика 4.7, може да биде и помеѓу две струи, или помеѓу две разнородни величини, на пример помеѓу напон и струја.

ЗАДАЧИ за вежбање:

5. Да се нацртаат фазорите на овие четири напони, на ист цртеж, на заедничка фазна оска, и потоа да се пресмета фазната разлика помеѓу секој од фазорите:
 - а) $u_1 = 10 \sin(\omega \cdot t + 90^\circ)$
 - б) $u_2 = 8 \sin(\omega \cdot t - 45^\circ)$
 - в) $u_3 = 5 \sin(\omega \cdot t + 180^\circ)$
 - г) $u_4 = 15 \sin(\omega \cdot t)$
6. Од фазорскиот цртеж да се прочитаат вредностите за ефективната вредност и почетната фаза, а потоа да се напишат моменталните изрази за наизменичните величини.



$$u_1 = 7 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t + 40^\circ) [V], u_2 = 10 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t + 70^\circ) [V],$$

$$i = 4 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t - 60^\circ) [A]$$

4.2 ОМСКИ ОТПОР ВО КОЛО СО НАИЗМЕНИЧНА СТРУЈА

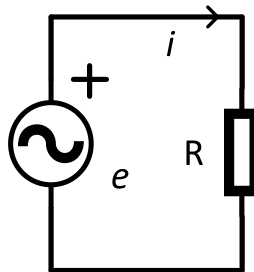
Електричните кола со наизменична струја мора да содржат најмалку еден извор на простопериодичен напон и еден потрошувач. Според природата на процесите кои настануваат во елементите на колото, тие се делат на: активни и пасивни елементи. Активните елементи вршат претворање на некоја енергија во електрична; тоа се генераторите, изворите на електричен напон, батериите. Пасивните елементи го одработуваат процесот во спротивна насока, односно електричната енергија ја претвораат во некој друг вид на енергија. Во колата со наизменична струја, еден дел од енергијата се претвора во топлина или во некоја друга корисна енергија, додека останатиот дел од енергијата што потекнува од електричното и од магнетното поле осцилира помеѓу генераторот и потрошувачите. Овие појави се карактеристични за одредени елементи: омски отпорник, калем и кондензатор.

Кај **омскиот** отпорник, карактеристично е претворањето од електрична во топлотна енергија (нереверзибилен процес) и отпорникот претставува **активен потрошувач**.

Кај **калемот**, карактеристично е претворањето од електрична во магнетна енергија, но може и од магнетна во електрична енергија. Енергијата осцилира (реверзибилен процес) и калемот е **реактивен елемент**.

Кај **кондензаторот**, карактеристично е претворањето од електрична во електростатичка енергија и обратно (реверзибилен процес) и кондензаторот е **реактивен елемент**.

На сликата во продолжение е дадено неразгрането коло со омски отпорник како потрошувач:



4.8 Коло со еден потрошувач (R)

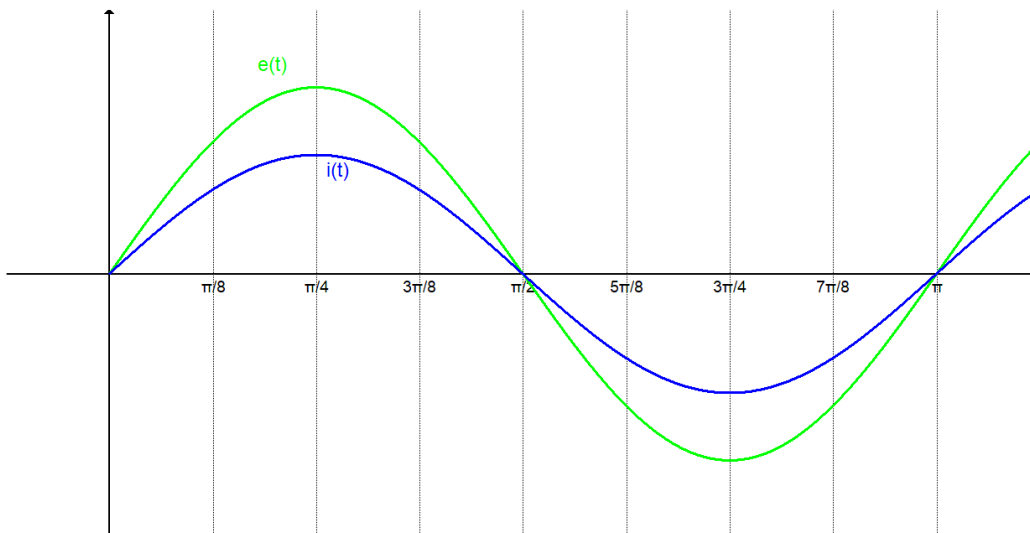
Напонот на изворот има облик:

$$e = E_m \sin(\omega \cdot t) [V]$$

Во отпорникот доаѓа до појава само на топлотна енергија, што е исто како кај постојаните струи, па ќе важи Омовиот закон:

$$i = \frac{e}{R} = \frac{E_m}{R} \sin(\omega \cdot t) [A]$$

Од запишаново можеме да заклучиме дека струјата низ еден омски отпорник се менува исто како напонот на неговите краеве, односно струјата и напонот истовремено ги достигнуваат своите максимуми. За ова коло велиме дека има чисто отпорнички карактер.



4.9 Временски дијаграм на напон и струја кај коло со чисто отпорнички карактер

Можеме да заклучиме дека јачината на струјата низ еден омски отпорник и напонот на неговите краеве се во фаза и за нив важи Омовиот закон. Кај фазорскиот дијаграм, фазорот на напонот и струјата се совпаѓаат, во правец и насока.



4.10 Фазорски дијаграм на напони и струи во коло со отпорник

Моменталните вредности на напонот и струјата низ еден омски отпорник се:

$$\begin{aligned} u_R &= U_m \sin(\omega \cdot t + \theta) [V] \\ I_m &= \frac{U_m}{R} [A] \quad \theta = \psi \\ i_R &= I_m \sin(\omega \cdot t + \psi) [A] \end{aligned} \quad (4.5)$$

АКТИВНА МОЌНОСТ

Во колото со наизменична струја, напонот и струјата осцилираат и постојано ги менуваат своите вредности и насоки. Моменталната моќност претставува производ од моменталните вредности на напонот и струјата, односно и моќноста има променлив карактер. Затоа, попрактично е да се работи со средна вредност на моќноста. Во коло со омски отпорник, неговиот напон и струја, како и моќноста ќе ги имаат следниве облици:

$$u_R = U_m \sin(\omega \cdot t) [V]$$

$$i_R = I_m \sin(\omega \cdot t) [A]$$

$$P = u_R \cdot i_R = U_m \cdot I_m \cdot \sin^2(\omega \cdot t) [W]$$

Поради обликот $\sin^2$, вредноста на моќноста постојано ќе биде позитивна ($\sin^2 > 0$). Брзината со којашто електричната енергија во омскиот отпорник се претвора во топлина не е секогаш еднаква. Затоа е потребно да се знае средната моќност, која изнесува:

$$P = \frac{U_m \cdot I_m}{2} = U \cdot I [W]$$

Потрошувачите кои електричната енергија ја претвораат во топлина се **активни потрошувачи**, моќноста што ја трошат е **активна моќност**, а таа претставува производ од ефективните вредности на напонот и струјата на тој потрошувач.

Кога во изразот за активна моќност ќе се примени Омовиот закон, се добиваат изведените формули, кои се применуваат во зависност од познатите величини: напон, струја, отпор.

$$P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = R \cdot I^2 [W] \quad (4.6)$$

ЗАДАЧИ за вежбање:

7. Да се пресмета активната моќност, ако напонот и струјата на неговите краеве:

$$u = 10\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t) [V]$$

$$i = 6\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t) [A]$$

$$/ P = 60 [W] /$$

8. Активниот потрошувач има отпорност од 80Ω , а низ него тече струја $i = 0,8\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t) [A]$. Да се напише изразот за напонот на неговите краеве, како и да се пресмета активната моќност што се развива на него.

$$/ u = 64\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t) [V], P = 51,2 [W] /$$

9. Потрошувач со отпорност од 200Ω , низ кој тече струја со амплитуда од $3 A$ и почетната фаза на неговиот напон е 100° , развива активна моќност која треба да се пресмета. Да се напишат и моменталните изрази за напонот и струјата.

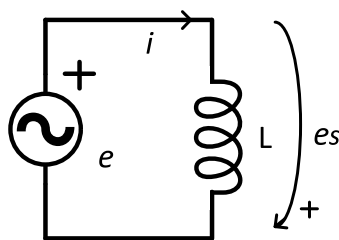
$$/ i = 3 \cdot \sin(\omega \cdot t + 100^\circ) [A], u = 600 \cdot \sin(\omega \cdot t + 100^\circ) [V], P = 900 [W] /$$

10. Активната моќност на еден потрошувач е $400 W$, неговиот отпор е 100Ω , почетната фаза на напонот е -45° , фреквенцијата на наизменичните величини е $50 Hz$. Да се напишат моменталните изрази за напонот и на струјата.

$$/ i = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(314 \cdot t - 45^\circ) [A], u = 200 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(314 \cdot t - 45^\circ) [V] /$$

4.3 ИДЕАЛЕН КАЛЕМ ВО КОЛО СО НАИЗМЕНИЧНА СТРУЈА

На сликата е прикажано неразгрането коло со еден извор и калем како потрошувач:



4.11 Коло со еден потрошувач (L)

За калем што има многу мала отпорност која може и да се занемари, велиме дека е идеален калем. Обликот на електромоторната сила на изворот е дадена како:

$$e = E_m \sin(\omega \cdot t + 90^\circ) [V]$$

Во коло со наизменичен напон, низ калемот ќе протече струја којашто во калемот ќе предизвика појава на индуцирана електромоторна сила. Индуцираната електромоторната сила има насока што се спротивставува на причината за нејзината појава, што е последица од Ленцовото правило. Ова е појава на самоиндукција, која одредена со Фарадеевиот закон ја дава формулата:

$$e_s = -L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t} [V]$$

Со примена на вториот Кирхофов закон се добива:

$$e + e_s = 0$$

Прикажани на фазорски дијаграм, се добива дека индуцираната e_s ќе има фаза спротивна од фазата на изворот, односно таа ќе биде:

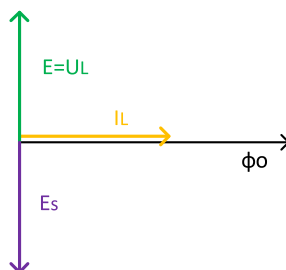
$$e_s = E_m \sin(\omega \cdot t - 90^\circ) [V]$$

$$E_m = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} = -L \cdot \omega \cdot I_m [V]$$

За обликот на моменталната вредност на струјата се добива дека таа има синусна форма, која е поместена така што ќе ја постигне својата максимална вредност во оној момент кога индуцираната ЕМС ќе ја добие својата нулта вредност:

$$i = I_m \sin(\omega \cdot t + 0^\circ) [A]$$

Фазорскиот дијаграм на овие три наизменични величини е следниот:



4.12 Фазорски дијаграм на напони и струи во коло со калем

Напонот на калемот ќе има обратна насока од насоката на e_s , односно напонот на калемот ќе ја следи насоката на струјата ($u_L = -e_s$). За струјата низ калемот можеме да заклучиме дека нејзината почетна фаза е секогаш помала за 90° од почетната фаза на напонот на калемот. Додека максималната вредност на струјата ќе биде за $L \cdot \omega$ пати помала од максималната вредност на напонот на калемот, за општ облик на напонот на калемот ќе важи следното:

$$\begin{aligned} u_L &= U_{Lm} \sin(\omega \cdot t + \theta) [V] \\ I_{Lm} &= \frac{U_{Lm}}{\omega \cdot L} [A], \quad \psi = \theta - 90^\circ \\ i_L &= I_{Lm} \sin(\omega \cdot t + \psi) [A] \end{aligned} \quad (4.7)$$

Од Омовиот закон ни е познато дека струјата е количник од напонот и отпорот, па произлегува дека производот $\omega \cdot L$ има карактер и димензии на отпор и ја изразува реакцијата на калемот на промената на струјата низ него, и се нарекува **ИНДУКТИВНА ОТПОРНОСТ**, која се бележи како:

$$X_L = \omega \cdot L [\Omega] \quad (4.8)$$

Бидејќи индуктивната отпорност е предизвикана од противдејството, реакцијата на индуцираната ЕМС на самоиндукција се нарекува и **реактивна индуктивна отпорност**. За ова коло велиме дека има чисто индуктивен карактер.

Отпорноста на калемот се зголемува правопрпорционално со растењето на фреквенцијата, а за еднонасочен режим, каде што нема фреквенција, односно таа е нула, калемот има отпорност 0Ω и претставува куса врска.

РЕАКТИВНА МОЌНОСТ НА КАЛЕМ

Во едно неразгрането коло со идеален калем, на чии краеве има приклучено наизменичен напон, ќе протече струја чии моментални вредности се:

$$\begin{aligned} u_L &= U_{Lm} \cdot \sin(\omega \cdot t + 90^\circ) [V] \\ i_L &= I_{Lm} \cdot \sin(\omega \cdot t) [A] \end{aligned}$$

Изразот за моменталната моќност ќе биде:

$$p = u_L \cdot i_L = U_{Lm} \sin(\omega \cdot t + 90^\circ) \cdot I_{Lm} \sin(\omega \cdot t) [W]$$

Моќноста во одреден интервал ја одредува енергијата на изворот, додека магнетната енергија на калемот изнесува:

$$W = \frac{L \cdot i^2}{2} [J]$$

Овие две енергии непрекинато осцилираат помеѓу изворот и калемот. Тоа ја одредува брзината на менување на енергија од електричен во магнетен облик и обратно.

Моќноста, поради тоа што се развива на реактивен елемент, се нарекува **реактивна моќност**, а нејзината ознака е Q_L . Единицата за мерење потполно одговара на единицата за мерење на моќноста на активниот елемент $p(W)$, но за да се разликуваат, единица за мерење на реактивната моќност е реактивен волтампер, или кратко вар (VA_r). Изразот за реактивна моќност кај калем е:

$$Q_L = U_L \cdot I_L [VA_r] \quad (4.9)$$

Со примена на Омовиот закон се добиваат и изведените изрази за реактивната моќност:

$$Q_L = X_L \cdot I_L^2 = \frac{U_L^2}{X_L} [VA_r]$$

ЗАДАЧИ за вежбање:

11. Да се прочита кружната фреквенција и почетниот агол на напонот, да се пресмета реактивната отпорност на калемот, а потоа да се одредат параметрите на струјата низ калемот и да се напише нејзината моментална вредност, за индуктивност на калемот 10 mH. Да се пресмета реактивната моќност, ако неговиот напон е

$$u_L = 40\sqrt{2} \sin(100 \cdot t) [V]$$

$$/ \omega = 100 [rad/s], \theta = 0^\circ, X_L = 1 [\Omega] i = 40\sqrt{2} \sin(100 \cdot t - 90^\circ) [A], Q_L = 1600 [VA_r] /$$

12. Даден е калем низ кој тече струја $i = 0,6\sqrt{2} \sin(400 \cdot t + 20^\circ) [A]$, чија индуктивност е 50 mH. Да се напише изразот за напонот на неговите краеве. Да се нацрта фазорски дијаграм на напони и струи. Да се пресмета реактивната моќност.

$$/ u = 12\sqrt{2} \sin(400 \cdot t + 110^\circ) [V], Q_L = 7,2 [VA_r] /$$

13. Даден е калем со индуктивна отпорност од 20 Ω , низ кој тече струја од 7 A. Почетната фаза на неговата струја е 60° и тој развива реактивна моќност која треба да се пресмета. Да се напишат и моменталните изрази за напонот и струјата. Да се нацрта фазорски дијаграм.

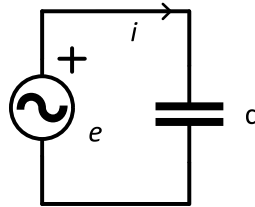
$$/ i = 7\sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t + 60^\circ) [A], u = 140\sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t + 150^\circ) [V], Q_L = 980 [VA_r] /$$

14. Реактивната моќност на еден калем е 40 VA_r , неговиот отпор е 10 Ω , почетната фаза на напонот е -45° . Фреквенцијата на наизменичните величини е 50 Hz. Да се напишат моменталните изрази за напонот и струјата. Да се пресмета индуктивноста на калемот и да се нацрта фазорски дијаграм.

$$/ i = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(314 \cdot t - 135^\circ) [A], u = 20 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(314 \cdot t - 45^\circ) [V], L = 0,032 [H] /$$

4.4 ИДЕАЛЕН КОНДЕНЗАТОР ВО КОЛО СО НАИЗМЕНИЧНА СТРУЈА

На сликата во продолжение е дадено неразгрането коло со еден потрошувач, кој е кондензатор, и еден извор:



4.13 Коло со еден потрошувач (C)

Основната намена на кондензаторите во колото е да складираат електрицитет, при што процесот на натрупување на електрицитет се нарекува полнење, а обратниот процес се нарекува празнење на кондензаторот. При полнење на кондензаторот се појавува потенцијална разлика. Внатрешниот напон (противнапон на кондензатор) помеѓу плочите на кондензаторот има спротивна насока од изворот во колото. Кога внатрешниот напон ќе се изедначи со надворешниот, полнењето на кондензаторот е завршено. Кај наизменичните извори на напојување, насоката постојано се менува (позитивни и негативни полупериоди). Тогаш процесот на полнење и празнење на кондензаторот ќе се извршува непрекинато. Количеството електричество на кондензаторот во позитивната полупериода ќе биде:

$$Q = C \cdot U_m [C], \text{ односно промената ќе биде } \Delta Q = C \cdot \Delta u [C]$$

Струјата што ќе протече како последица на полнењето и празнењето на кондензаторот е:

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = C \cdot \frac{\Delta u}{\Delta t} [A]$$

Брзината на промената на напонот е пропорционална со кружната фреквенција:

$$\frac{\Delta u}{\Delta t} = \omega \cdot U_m$$

Бидејќи $\frac{\Delta u}{\Delta t} = \frac{i}{C}$, се добива релацијата:

$$\frac{I_m}{C} = \omega \cdot U_m, \text{ односно } I_m = C \cdot \omega \cdot U_m [A]$$

Според оваа релација, ефективната вредност ќе биде:

$$I = C \cdot \omega \cdot U = \frac{U}{1/\omega \cdot C} [A]$$

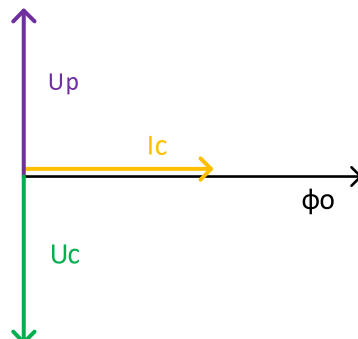
Од Омовиот закон заклучуваме дека отпорноста на кондензаторот е:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} [\Omega]$$

Капацитивната отпорност се нарекува **реактивна капацитивна отпорност**. За ова коло велиме дека има чисто капацитивен карактер.

Отпорноста на кондензаторот се зголемува обратнопропорционално со порастот на фреквенцијата, а за еднонасочен режим, каде што нема фреквенција, односно таа е нула, кондензаторот има бесконечна отпорност и претставува отворена гранка.

Поради појавата на противнапонот (U_p) во колото со кондензатор, ќе се појави течење на струја (I_c), во однос на дадениот напон (U_c), кои во фазорски облик ќе бидат:



4.14 Фазорски дијаграм на напони и струи во коло со кондензатор

Релацијата што ги поврзува напонот и струјата кај кондензатор е:

$$\begin{aligned} u_c &= U_{cm} \sin(\omega \cdot t + \theta) [V] \\ X_c &= \frac{1}{\omega \cdot C} [\Omega] \quad I_{cm} = \frac{U_{cm}}{X_c} [A] \quad \psi = \theta + 90^\circ \\ i_c &= I_{cm} \sin(\omega \cdot t + \psi) [A] \end{aligned} \quad (4.10)$$

РЕАКТИВНА МОЌНОСТ НА КОНДЕНЗАТОР

Моќноста во едно неразгрането коло со идеален кондензатор, на чии краеве има приклучено наизменичен напон низ кој ќе протече струја, исто како кај калем, ќе биде:

$$p = u_c \cdot i_c = U_{cm} \sin(\omega \cdot t) \cdot I_{cm} \sin(\omega \cdot t + 90^\circ) [W]$$

Моќноста во одреден интервал ја одредува енергијата на изворот, додека електростатичката енергија на кондензаторот изнесува:

$$W = \frac{C \cdot u^2}{2} [J]$$

Овие две енергии непрекинато осцилираат помеѓу изворот и кондензаторот. Тоа ја одредува брзината на менување на енергија од електричен во електростатички облик и обратно.

Поради тоа што моќноста се развива на реактивен елемент, таа се нарекува **реактивна моќност**. Нејзината ознака е Q_c ; единицата за мерење потполно одговара на единицата за мерење на моќноста на активниот елемент $P(W)$, но за да се разликуваат, единица за

мерење на реактивната моќност е реактивен волтампер, или кратко вар (VAr). Изразот за реактивна моќност кај кондензатор е:

$$Q_C = U_C \cdot I_C [VAr] \quad (4.11)$$

Со примена на Омовиот закон се добиваат и изведените изрази за реактивната моќност:

$$Q_C = X_C \cdot I_C^2 = \frac{U_C^2}{X_C} [VAr]$$

ЗАДАЧИ за вежбање:

15. Да се пресмета реактивната отпорност на кондензатор со капацитивност од $100 \mu F$. Да се напише моменталната вредност на струјата низ него, ако напонот на неговите краеве е $u = 40\sqrt{2} \sin(500 \cdot t) [V]$.

$$/ X_C = 20[\Omega], i = 2\sqrt{2} \sin(500 \cdot t + 90^\circ) [V] /$$

16. Реактивната отпорност на кондензаторот е 8Ω , а низ него тече струја $i = 0,9\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t) [A]$. Да се напише изразот за напонот на неговите краеве. Да се нацрта фазорски дијаграм и да се пресмета реактивната моќност.

$$/ u = 7,2\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t - 90^\circ) [V], Q_C = 6,48 [VAr] /$$

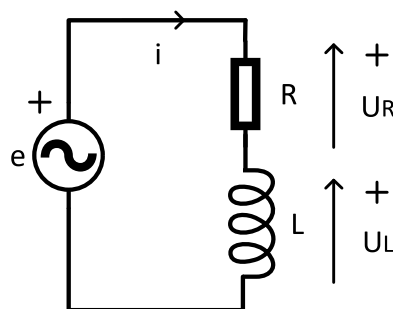
17. Низ кондензатор со реактивна отпорност од 30Ω , тече струја со амплитуда од $6 A$. Почетната фаза на неговиот напон е 100° . Кондензаторот развива реактивна моќност која треба да се пресмета. Да се напишат моменталните изрази за напонот и за струјата.

$$/ i = 6 \cdot \sin(\omega \cdot t + 190^\circ) [A], u = 180 \cdot \sin(\omega \cdot t + 100^\circ) [A], Q_C = 540 [VAr] /$$

4.5 СЕРИСКА ВРСКА НА ОТПОРНИК, КАЛЕМ И КОНДЕНЗАТОР

СЕРИСКА ВРСКА НА ОТПОРНИК И КАЛЕМ

Неразгрането, просто коло на еден отпорник и калем е:



4.15 Сериска врска на RL коло

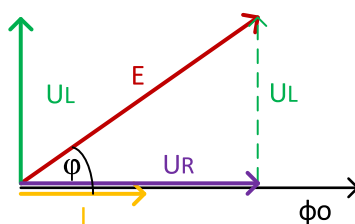
Претходно покажавме дека напонот на отпорникот е секогаш во фаза со струјата низ него, додека напонот кај калемот секогаш има агол за 90° поголем од аголот на струјата. Нивните моментални вредности се:

$$i = I_m \sin(\omega \cdot t) [A]$$

$$U_{Rm} = R \cdot I_m [V], \quad \theta_R = \psi = 0, \quad u_R = U_{Rm} \sin(\omega \cdot t) [V]$$

$$U_{Lm} = X_L \cdot I_m [V], \quad \theta_L = \psi + 90^\circ = 90^\circ, \quad u_L = U_{Lm} \sin(\omega \cdot t + 90^\circ) [V]$$

Кога се црта фазорскиот дијаграм, се започнува со заедничката величина за овие елементи. Кај сериски поврзани елементи, струјата низ елементите е заедничка (иста), а напоните се разликуваат. Фазорскиот дијаграм на напони и струја е:



4.16 Фазорски дијаграм на напони и струи кај сериско RL коло

Триаголникот сочинет од напоните U_R , U_L и E се вика триаголник на напони. Од него, со примена на Питагоровата теорема се добива:

$$E^2 = U_L^2 + U_R^2,$$

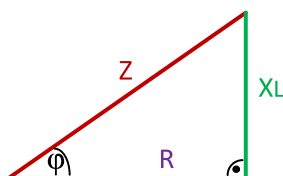
$$\begin{aligned} E &= \sqrt{U_L^2 + U_R^2} = \sqrt{(I \cdot X_L)^2 + (I \cdot R)^2} = \sqrt{I^2 \cdot X_L^2 + I^2 \cdot R^2} = \sqrt{I^2 \cdot (X_L^2 + R^2)} \\ &= \sqrt{I^2} \cdot \sqrt{(X_L^2 + R^2)} = I \cdot \sqrt{X_L^2 + R^2} [V] \end{aligned}$$

$$E = I \cdot Z [V]$$

$$Z = \sqrt{X_L^2 + R^2} [\Omega] \quad (4.12)$$

Z има димензија на отпорност и се вика привидна отпорност, или **импеданса** на колото. За ова коло се вели дека има претежно индуктивен карактер.

Како што постои триаголник на напони, така исто има и триаголник на отпорности, кој е прикажан на сликава:



4.17 Триаголник на отпори кај сериско RL коло

Аголот ϕ е агол кој е ист кај триаголникот на напони и кај триаголникот на отпорности, и е агол помеѓу изворот E и струјата I . Тој агол се вика фазно поместување. Неговата пресметка е следнава:

$$\tan \varphi = \frac{X_L}{R} = \frac{\omega \cdot L}{R} \quad (4.13)$$

Моќноста на изворот претставува производ на ефективните вредности на напонот и струјата низ него. Напонот на изворот според Омовиот закон е производ од струјата и импедансата на колото. Заменети во формулата за моќност на изворот се добива:

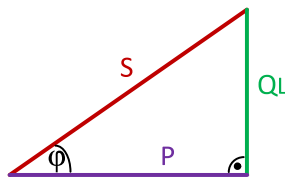
$$\begin{aligned} S &= E \cdot I = (Z \cdot I) \cdot I = Z \cdot I^2 = I^2 \cdot \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{I^4 \cdot (R^2 + X_L^2)} = \sqrt{I^4 \cdot R^2 + I^4 \cdot X_L^2} \\ &= \sqrt{(I^2 \cdot R)^2 + (I^2 \cdot X_L)^2} [VA] \\ S &= \sqrt{P^2 + Q_L^2} [VA] \end{aligned} \quad (4.14)$$

$[VA]$ – **привидна моќност** на колото; единица мерка е волтампер (VA)

$P [W]$ – **активна моќност** во колото; единица мерка ват (W)

$Q_L [VA_r]$ – **реактивна моќност** во колото; единица мерка (VAr)

Истиот триаголник, важи и за моќности, прикажан на сликава:



4.18 Триаголник на моќности кај сериско RL коло

Величината $\cos \varphi = \frac{P}{S}$ се нарекува **фактор на моќност**. За електричните машини претставува колкав дел од привидната моќност може да се искористи.

ЗАДАЧИ за вежбање:

18. Да се пресмета активната и реактивна моќност на сериски поврзаните отпорник и калем. Отпорникот е со отпорност 4Ω , калемот е со 6Ω , ако струјата низ нив е $i = 5\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t) [A]$. Да се напишат изразите за моменталните вредности на напоните на секој елемент поединечно. Да се нацрта фазорски дијаграм на напони и струи и да се пресмета импедансата на колото.

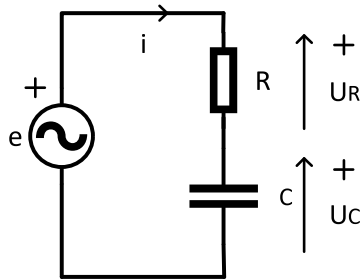
$$\begin{aligned} & / P = 100[W], Q_C = 150 [VA_r], S = 180 [VA], \\ & u_R = 20\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t) [V], u_L = 30\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 90^\circ) [V], Z = 7,2[\Omega] / \end{aligned}$$

19. Имаме сериски поврзани отпорник и калем. Активниот потрошувач има отпорност од 8Ω , реактивниот има 6Ω и низ нив тече струја $i = 0,8\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t - 40^\circ) [A]$. Да се напише изразот за напонот на отпорникот, калемот и вкупниот напон и да се нацрта фазорски дијаграм. Пресметај ги активната, реактивната и привидната моќност.

$$\begin{aligned} & / u_R = 6,4\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t - 40^\circ) [V], u_L = 4,8\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 50^\circ) [V], \varphi = 37^\circ, \\ & e = 8\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t - 3^\circ) [V], p = 5,12 [W], Q_L = 6,4 [VA_r], S = 8,2 [VA] / \end{aligned}$$

СЕРИСКА ВРСКА НА ОТПОРНИК И КОНДЕНЗАТОР

Неразгрането, просто коло на еден отпорник и кондензатор е:



4.19 Сериска врска на RC коло

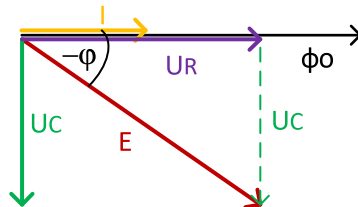
Претходно покажавме дека напонот на отпорникот е секогаш во фаза со струјата низ него, додека напонот кај кондензаторот секогаш има агол за 90° помал од аголот на струјата. Нивните моментални вредности се:

$$i = I_m \sin(\omega \cdot t) [A]$$

$$U_{Rm} = R \cdot I_m [V], \quad \theta_R = \psi = 0, \quad u_R = U_{Rm} \sin(\omega \cdot t) [V]$$

$$U_{Cm} = X_C \cdot I_m [V], \quad \theta_C = \psi - 90^\circ = -90^\circ, \quad u_C = U_{Cm} \sin(\omega \cdot t - 90^\circ) [V]$$

Кога се црта фазорскиот дијаграм, се започнува со заедничката величина за овие елементи. Кај сериски поврзани елементи, струјата низ елементите е заедничка (иста), а напоните се разликуваат. Фазорскиот дијаграм на напони и струја е:



4.20 Фазорски дијаграм на напони и струи кај сериско RC коло

Триаголникот сочинет од напоните U_R , U_C и E е триаголник на напони. Од него, со примена на Питагоровата теорема се добива:

$$E^2 = U_C^2 + U_R^2,$$

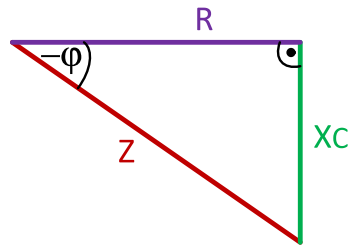
$$\begin{aligned} E &= \sqrt{U_C^2 + U_R^2} = \sqrt{(I \cdot X_C)^2 + (I \cdot R)^2} = \sqrt{I^2 \cdot X_C^2 + I^2 \cdot R^2} = \sqrt{I^2 \cdot (X_C^2 + R^2)} \\ &= \sqrt{I^2} \cdot \sqrt{(X_C^2 + R^2)} = I \cdot \sqrt{X_C^2 + R^2} [V] \end{aligned}$$

$$E = I \cdot Z [V]$$

$$Z = \sqrt{X_C^2 + R^2} [\Omega] \quad (4.15)$$

Z има димензија на отпорност и се вика привидна отпорност, или **импеданса** на колото. За ова коло се вели дека има претежно капацитивен карактер.

На сликава е прикажан триаголник на отпорности:



4.21 Триаголник на отпори кај сериско RC коло

Аголот $-\varphi$ е агол кој е ист кај триаголникот на напони и кај триаголникот на отпорности, и е агол помеѓу изворот E и струјата I . Тој е фазно поместување. Неговата насока на цртање е под фазната оска, што му дава карактеристика на негативен број (неговата негативна вредност означува дека струјата има поголем почетен агол од напонот) и се пресметува на следниов начин:

$$\tan \varphi = -\frac{X_C}{R} = -\frac{1}{\omega \cdot C \cdot R} \quad (4.16)$$

Моќноста на изворот е:

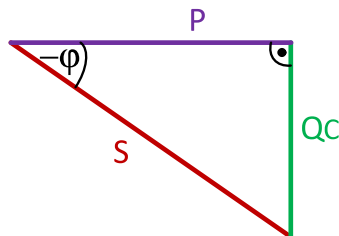
$$\begin{aligned} S &= E \cdot I = (Z \cdot I) \cdot I = Z \cdot I^2 = I^2 \cdot \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{I^4 \cdot (R^2 + X_C^2)} = \sqrt{I^4 \cdot R^2 + I^4 \cdot X_C^2} \\ &= \sqrt{(I^2 \cdot R)^2 + (I^2 \cdot X_C)^2} \text{ [VA]} \\ S &= \sqrt{P^2 + Q_C^2} \text{ [VA]} \end{aligned} \quad (4.17)$$

$S \text{ [VA]}$ – **привидна моќност** на колото; единица мерка е волтампер (VA)

$P \text{ [W]}$ – **активна моќност** во колото; единица мерка ват (W)

$Q_C \text{ [VA}_r\text{]}$ – **реактивна моќност** во колото; единица мерка (VA_r)

Триаголникот на моќности е прикажан на сликава:



4.22 Триаголник на моќности кај сериско RC коло

ЗАДАЧИ за вежбање:

20. Да се пресмета активната и реактивна моќност на сериски поврзаните отпорник и кондензатор, како и привидната моќност. Отпорникот е со отпорност 12Ω , реактивната отпорност е 5Ω , а струјата низ нив е $i = \sqrt{2} \sin(\omega \cdot t) [A]$. Да се напишат изразите за моменталните вредности на напоните на секој елемент поединечно, да се пресмета импедансата на колото и да се нацрта фазорски дијаграм на напони и струи.

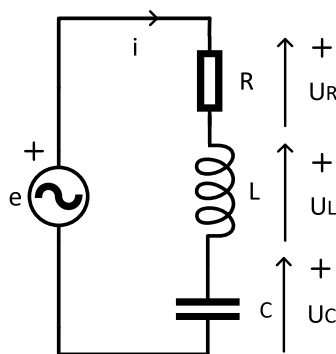
$$P = 12[W], Q_C = 5[VA_r], S = 13[VA], \\ u_R = 12\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t) [V], u_C = 5\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t - 90^\circ) [V], Z = 13[\Omega] /$$

21. Сериски поврзани отпорник и кондензатор. Активниот потрошувач има отпорност од 4Ω , а реактивниот има 3Ω и низ нив тече струја $i = 6\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 20^\circ) [A]$. Да се напише изразот за напонот на отпорникот, кондензаторот и вкупниот напон. Да се нацрта фазорски дијаграм и да се пресмета импедансата на колото, активната, реактивната и привидната моќност.

$$u_R = 24\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 20^\circ) [V], u_C = 18\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t - 70^\circ) [V], \varphi = -37^\circ, \\ e = 30\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t - 57^\circ) [V], Z = 5[\Omega] p = 144 [W], Q_C = 108 [VA_r], S = 180 [VA] /$$

СЕРИСКА ВРСКА НА ОТПОРНИК, КАЛЕМ И КОНДЕНЗАТОР

Неразгрането, просто коло на еден отпорник, калем и кондензатор е:



4.23 Сериска врска на RLC коло

Претходно покажавме дека напонот на отпорникот е секогаш во фаза со струјата низ него, напонот на калемот има агол за 90° поголем од аголот на струјата, додека напонот кај кондензаторот секогаш има агол за 90° помал од аголот на струјата. Нивните моментални вредности се:

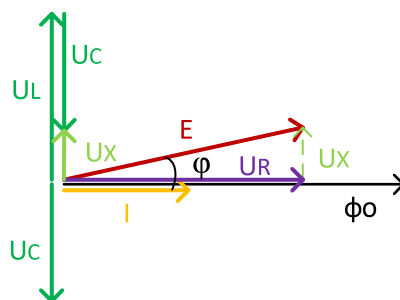
$$i = I_m \sin(\omega \cdot t) [A]$$

$$U_{Rm} = R \cdot I_m [V], \quad \theta_R = \psi = 0, \quad u_R = U_{Rm} \sin(\omega \cdot t) [V]$$

$$U_{Lm} = X_L \cdot I_m [V], \quad \theta_L = \psi + 90^\circ = 90^\circ, \quad u_L = U_{Lm} \sin(\omega \cdot t + 90^\circ) [V]$$

$$U_{Cm} = X_C \cdot I_m [V], \quad \theta_C = \psi - 90^\circ = -90^\circ, \quad u_C = U_{Cm} \sin(\omega \cdot t - 90^\circ) [V]$$

Кога се црта фазорскиот дијаграм, се започнува со заедничката величина за овие елементи. Кај сериски поврзани елементи, струјата низ елементите е заедничка (иста), а напоните се разликуваат. Фазорскиот дијаграм на напони и струја е:



4.24 Фазорски дијаграм на напони и струи кај сериско RLC коло

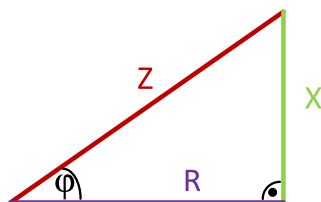
Напонот U_X претставува напон на реактивните елементи; под претпоставка дека $X_L > X_C$, истото важи и за нивните напони $U_L > U_C$, па се добива дека $U_X = U_L - U_C$.

Триаголникот сочинет од напоните U_R , U_X и E е триаголник на напони. Од него, со примена на Питагоровата теорема се добива:

$$\begin{aligned} E^2 &= U_X^2 + U_R^2, \\ E &= I \cdot Z [V], \\ X &= X_L - X_C [\Omega], \\ Z &= \sqrt{X^2 + R^2} [\Omega] \end{aligned} \quad (4.18)$$

Бидејќи зедовме дека $X_L > X_C$, за колото велиме дека има претежно индуктивен карактер, а ако важеше спротивното, колото ќе имаше претежно капацитивен карактер.

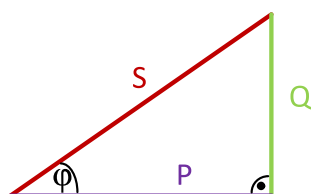
На сликата е прикажан триаголник на отпорности:



4.25 Триаголник на отпори кај сериско RLC коло

$$\tan \varphi = \frac{X}{R} \quad (4.19)$$

Триаголникот на моќности е прикажан на сликава, при што сè уште важи $X_L > X_C$ и $X = X_L - X_C$, односно $Q_L > Q_C$ и $Q = Q_L - Q_C$:



4.26 Триаголник на моќности кај сериско RLC коло

ЗАДАЧИ за вежбање:

22. Да се пресмета активната и реактивната моќност на сериски поврзани отпорник, калем и кондензатор, како и привидната моќност. Отпорникот е со отпорност 12Ω , кондензаторот е со 8Ω , калемот е со отпорност 13Ω , а струјата што тече низ нив е $i = 4\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 25^\circ) [A]$. Да се напишат изразите за моменталните вредности на напоните на секој елемент поединечно, да се пресмета импедансата на колото и да се нацрта фазорски дијаграм на напони и струи.

$$\begin{aligned} P &= 192 [W], Q_C = 128 [VA_r], Q_L = 208 [VA_r], Q = 80 [VA_r], S = 208 [VA], \\ u_R &= 48\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 25^\circ) [V], u_C = 32\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t - 65^\circ) [V], \\ u_L &= 52\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 115^\circ) [V], Z = 13 [\Omega] \end{aligned}$$

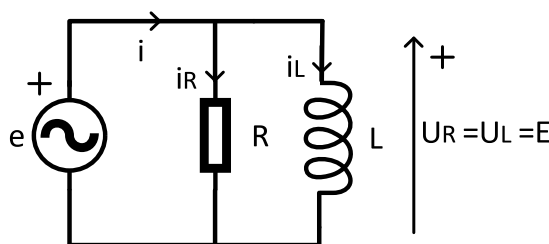
23. Имаме сериски поврзани отпорник, калем и кондензатор. Активниот потрошувач има отпорност од 4Ω , реактивниот има 8Ω и 5Ω соодветно, а струјата низ трите елементи е $i = 10\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 90^\circ) [A]$. Да се напише изразот за напонот на отпорникот, калемот, кондензаторот и вкупниот напон. Да се нацрта фазорски дијаграм и да се пресмета импедансата на колото, активната, реактивната и привидната моќност.

$$\begin{aligned} u_R &= 40\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 90^\circ) [V], u_L = 80\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 180^\circ) [V], \\ u_C &= 50\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t) [V], \varphi = 37^\circ, e = 50\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 127^\circ) [V], \\ Z &= 5 [\Omega] p = 400 [W], Q_L = 800 [VA_r], Q_C = 500 [VA_r], S = 500 [VA] \end{aligned}$$

4.6 ПАРАЛЕЛНА ВРСКА НА ОТПОРНИК, КАЛЕМ И КОНДЕНЗАТОР

ПАРАЛЕЛНА ВРСКА НА ОТПОРНИК И КАЛЕМ

Паралелно коло на еден отпорник и калем е:



4.27 Паралелна врска на RL коло

$$S = E \cdot I = E \cdot \sqrt{(I_R^2 + I_L^2)} = E \cdot \sqrt{\left(\frac{E}{R}\right)^2 + \left(\frac{E}{X_L}\right)^2} = \sqrt{E \left(\frac{E}{R}\right)^2 + E \left(\frac{E}{X_L}\right)^2} [VA]$$

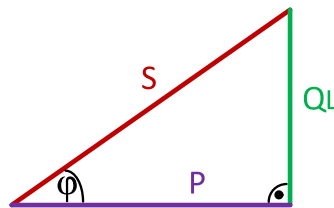
$$S = \sqrt{P^2 + Q_L^2} [VA] \quad (4.23)$$

$S [VA]$ – **привидна моќност** на колото; единица мерка е волтампер (VA)

$P [W]$ – **активна моќност** во колото; единица мерка ват (W)

$Q_L [VA_r]$ – **реактивна моќност** во колото; единица мерка (VA_r)

Триаголник на моќности е ист и кај сериска и кај паралелна врска. Тој го изразува физичкиот закон за постојаност на енергијата, прикажан на сликата:



4.29 Триаголник на моќности кај паралелно RL коло

Величината $\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{I_R}{I}$ се нарекува **фактор на моќност**. За електричните машини претставува колкав дел од привидната моќност може да се користи, и со таа цел се тежнее факторот на моќност да има колку што е можно поголема вредност.

ЗАДАЧИ за вежбање:

24. Да се пресмета активната и реактивна моќност на паралелно поврзаните отпорник и калем, нивната привидна моќност, при што отпорникот е со отпорност 2Ω , а калемот е со отпорност 12Ω , изворот: $e = 36\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 100^\circ) [V]$. Да се напишат изразите за моменталните вредности на струите низ секој елемент поединечно. Да се пресмета адмитансата на колото и да се нацрта фазорски дијаграм на напони и струи.

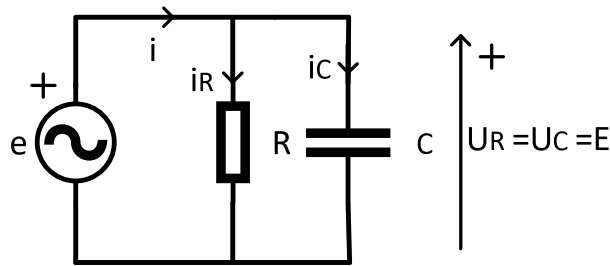
$$P = 684[W], Q_L = 108[VA_r], S = 692[VA], \\ i_R = 19\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 100^\circ) [A], i_L = 3\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 10^\circ) [A], Y = 0,5[S] /$$

25. Сериски се поврзани отпорник и калем. Активниот потрошувач има отпорност од 10Ω , реактивниот има 4Ω , $e = 20\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 90^\circ) [V]$ е моменталниот израз за изворот. Да се напише изразот за струјата низ отпорникот и калемот, и вкупната струја што тече низ изворот. Да се нацрта фазорски дијаграм и да се пресмета адмитансата на колото, активната, реактивната и привидната моќност.

$$i_R = 2\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 90^\circ) [A], i_L = 5\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t) [A], \varphi = 68^\circ, \\ i = 5,4\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 68^\circ) [A], Y = 0,51[S], p = 40 [W], Q_L = 100 [VA_r], S = 108 [VA] /$$

ПАРАЛЕЛНА ВРСКА НА ОТПОРНИК И КОНДЕНЗАТОР

Паралелно коло на еден отпорник и кондензатор е:



4.30 Паралелна врска на RC коло

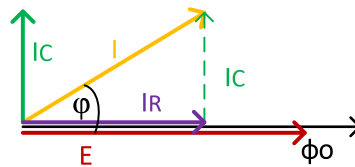
Покажавме дека напонот на отпорникот е секогаш во фаза со струјата низ него, додека напонот кај кондензаторот секогаш има агол за 90° помал од аголот на струјата. Нивните моментални вредности се:

$$e = E_m \sin(\omega \cdot t) [V], \quad E_m = U_{Rm} = U_{Cm}, \quad \theta = \theta_R = \theta_C$$

$$I_{Rm} = \frac{U_{Rm}}{R} [A], \quad \psi_R = \theta = 0, \quad i_R = I_{Rm} \sin(\omega \cdot t) [A]$$

$$I_{Cm} = \frac{U_{Cm}}{X_C} [A], \quad \psi_C = \theta + 90^\circ = +90^\circ, \quad i_C = I_{Cm} \sin(\omega \cdot t + 90^\circ) [A]$$

Кога се црта фазорскиот дијаграм, се започнува со заедничката величина за овие елементи. Кај паралелно поврзани елементи, напонот на елементите е заеднички (ист), а струите се разликуваат. Фазорскиот дијаграм на напони и струи е:



4.31 Фазорски дијаграм на напони и струи кај паралелно RC коло

Од цртежот, со примена на Питагоровата теорема се добива:

$$I^2 = I_C^2 + I_R^2,$$

$$\begin{aligned} I &= \sqrt{I_C^2 + I_R^2} = \sqrt{\left(\frac{E}{X_C}\right)^2 + \left(\frac{E}{R}\right)^2} = \sqrt{E^2 \cdot \frac{1}{X_C^2} + E^2 \cdot \frac{1}{R^2}} = \sqrt{E^2 \cdot \left(\left(\frac{1}{X_C}\right)^2 + \left(\frac{1}{R}\right)^2\right)} \\ &= \sqrt{E^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{X_C^2} + \frac{1}{R^2}} = E \cdot \sqrt{\frac{1}{X_C^2} + \frac{1}{R^2}} [A] \end{aligned}$$

$$I = E \cdot Y [A] \quad (4.24)$$

$$Y = \sqrt{\frac{1}{X_C^2} + \frac{1}{R^2}} [S] \quad (4.25)$$

Y е привидна спроводност, или **адмитанса** на колото.

Аголот φ се пресметува на следниов начин:

$$\tan \varphi = \frac{I_C}{I_R} = \frac{\frac{E}{X_C}}{\frac{E}{R}} = \frac{R}{X_C} \quad (4.26)$$

Моќноста на изворот е:

$$S = E \cdot I = E \cdot \sqrt{(I_R^2 + I_C^2)} = E \cdot \sqrt{\left(\frac{E}{R}\right)^2 + \left(\frac{E}{X_C}\right)^2} = \sqrt{E \left(\frac{E}{R}\right)^2 + E \left(\frac{E}{X_C}\right)^2} [VA]$$

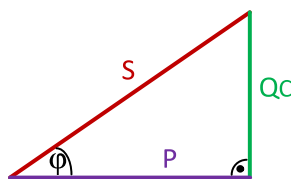
$$S = \sqrt{P^2 + Q_C^2} [VA] \quad (4.27)$$

$S [VA]$ – **привидна моќност** на колото; единица мерка е волтампер (VA)

$P [W]$ – **активна моќност** во колото; единица мерка ват (W)

$Q_C [VA_r]$ – **реактивна моќност** во колото; единица мерка (VA_r)

На сликава е прикажан триаголникот на моќности:



4.32 Триаголник на моќности кај паралелно RC коло

ЗАДАЧИ за вежбање:

26. Да се пресмета активната и реактивна моќност на паралелно поврзаните отпорник и кондензатор, како и вкупната привидна моќност, при што отпорникот е со отпорност 8Ω , а калемот е со отпорност 6Ω , и напонот на изворот има моментална вредност $e = 36\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t - 30^\circ) [V]$. Да се напишат изразите за моменталните вредности на струите низ секој елемент поединечно. Да се пресмета адмитансата на колото и да се нацрта фазорски дијаграм на напони и струи.

$$P = 144[W], Q_C = 216[VA_r], S = 260[VA],$$

$$i_R = 4\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t - 30^\circ) [A], i_C = 6\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 60^\circ) [A], Y = 0,21[S]$$

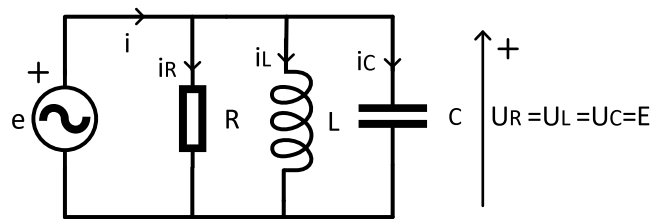
27. Сериски се поврзани отпорник и кондензатор. Активниот потрошувач има отпорност од 1Ω , реактивниот има 8Ω , $e = 24\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 90^\circ) [V]$ е моменталниот израз за изворот. Да се напише изразот за струјата низ отпорникот и кондензаторот, вкупната струја што тече низ изворот. Да се нацрта фазорски дијаграм и да се пресмета адмитансата на колото, активната, реактивната и привидната моќност.

$$i_R = 24\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 90^\circ) [A], i_C = 3\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 180^\circ) [A], \varphi = -7^\circ,$$

$$i = 24,2\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 97^\circ) [A], Y = 1[S], P = 576 [W], Q_C = 72 [VA_r], S = 580 [VA]$$

ПАРАЛЕЛНА ВРСКА НА ОТПОРНИК, КАЛЕМ И КОНДЕНЗАТОР

Едноставно коло на паралелно врзани отпорник, калем и кондензатор е:



4.33 Паралелна врска на RLC коло

Покажавме дека напонот на отпорникот е секогаш во фаза со струјата низ него, напонот на калемот има агол за 90° поголем од аголот на струјата, додека напонот кај кондензаторот секогаш има агол за 90° помал од аголот на струјата. Нивните моментални вредности се:

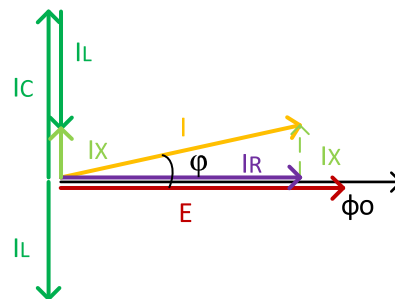
$$e = E_m \sin(\omega \cdot t) [V], E_m = U_{Rm} = U_{Cm}, \theta = \theta_R = \theta_L = \theta_C$$

$$I_{Rm} = \frac{U_{Rm}}{R} [A], \theta_R = \psi = 0, i_R = I_{Rm} \sin(\omega \cdot t) [A]$$

$$I_{Lm} = \frac{U_{Lm}}{X_L} [A], \psi_L = \theta - 90^\circ = -90^\circ, i_L = I_{Lm} \sin(\omega \cdot t - 90^\circ) [A]$$

$$I_{Cm} = \frac{U_{Cm}}{X_C} [A], \psi_C = \theta + 90^\circ = +90^\circ, i = I_{Cm} \sin(\omega \cdot t + 90^\circ) [A]$$

Кога се црта фазорскиот дијаграм, се започнува со заедничката величина за овие елементи. Кај паралелно поврзани елементи, напонот на елементите е заеднички (ист), а струите се разликуваат. Фазорскиот дијаграм на напони и струи е:



4.34 Фазорски дијаграм на напони и струи кај паралелно RLC коло

Струјата I_X претставува збир на струите низ реактивните елементи. Под претпоставка дека $X_L > X_C$, важи за нивните струи $I_L < I_C$, се добива дека $I_X = I_C - I_L$ (I претставува збир, но бидејќи I_L и I_C имаат спротивни насоки, нивниот векторски збир претставува аритметичка разлика). Според цртежот, се добива:

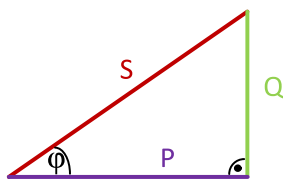
$$I^2 = I_X^2 + I_R^2,$$

$$E = I \cdot Z [V],$$

Бидејќи зедеме дека $I_C > I_L$, за колото велиме дека има претежно капацитивен карактер, а ако важеше спротивното, колото ќе имаше претежно индуктивен карактер.

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

Триаголникот на моќности е прикажан на сликава, при што сè уште важи $X_L > X_C$, односно $Q_L < Q_C$ и $Q = Q_C - Q_L$:



4.35 Триаголник на моќности кај паралелно RLC коло

ЗАДАЧИ за вежбање:

28. Да се пресмета активната и реактивна моќност на паралелно поврзаните отпорник, калем и кондензатор, како и вкупната привидна моќност, при што отпорникот е со отпорност 3Ω , калемот е со отпорност 6Ω , а кондензаторот има отпорност од 2Ω . Напонот на изворот има моментална вредност $e = 18\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t - 90^\circ) [V]$. Да се напишат изразите за моменталните вредности на струите низ секој елемент поединечно и да се нацрта фазорски дијаграм на напони и струи.

$$P = 108 [W], Q_L = 54 [VA_r], Q_C = 162 [VA_r], S = 153 [VA], \\ i_R = 6\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t - 90^\circ) [A], i_L = 3\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t - 180^\circ) [A], i_C = 9\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t) [A] /$$

29. Паралелно се поврзани отпорник, калем и кондензатор. Активниот потрошувач има отпорност од 12Ω , реактивните имаат 18Ω и 8Ω соодветно, а напонот на изворот е $e = 72\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 50^\circ) [V]$. Да се напише изразот за струјата низ отпорникот, калемот и кондензаторот, вкупната струја што тече низ изворот. Да се нацрта фазорски дијаграм и да се пресмета адмитансата на колото, активната, реактивната и привидната моќност.

$$i_R = 6\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 50^\circ) [A], i_L = 3\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t - 40^\circ) [A], \\ i_C = 9\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 140^\circ) [A], \varphi = 50^\circ, i = 24,2\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + 100^\circ) [A], Y = 0,2 [S] \\ p = 432 [W], Q_L = 216 [VA_r], Q_C = 648 [VA_r], S = 611 [VA] /$$

ПОПРАВКА НА ФАКТОР НА МОЌНОСТ

Факторот на моќност ($\cos \varphi$) претставува големина којашто опишува колкав дел од привидната моќност што ја развива изворот во колото може да се искористи за полезна работа.

Од триаголникот на моќности се дефинира:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}, S = U \cdot I, \cos \varphi = \frac{P}{U \cdot I} \quad (4.28)$$

Ако ја изразиме струјата од ова равенство се добива:

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} [A]$$

Целта е да се добие колку што е можно поголем фактор на моќност. Бидејќи напонот на изворот не се менува, произлегува дека струјата е таа на којашто ќе се влијае. Од равенството се заклучува дека струјата треба да е со колку што е можно помала ефективна вредност, за факторот на моќност да биде колку што е можно поголем. За електричните машини, кои претставуваат големи потрошувачи и кај нив факторот на моќност има силно влијание, знаеме дека имаат индуктивен карактер. За да се изврши намалување на струјата, паралелно на индуктивниот потрошувач се врзува кондензатор, чија насока на струјата на фазорскиот дијаграм ќе има спротивна насока од струјата низ машината, поради што вкупната струја I ќе се намали. Врзувањето на кондензаторот се нарекува **поправка**, или **компензација на факторот на моќност**. За вредноста на кондензаторот треба да биде исполнет условот:

$$C = \frac{L}{R^2 + (\omega \cdot L)^2} [F] \quad (4.29)$$

Ако вредноста на кондензаторот го исполнува равенството, се добива:

$$\cos \varphi = 1$$

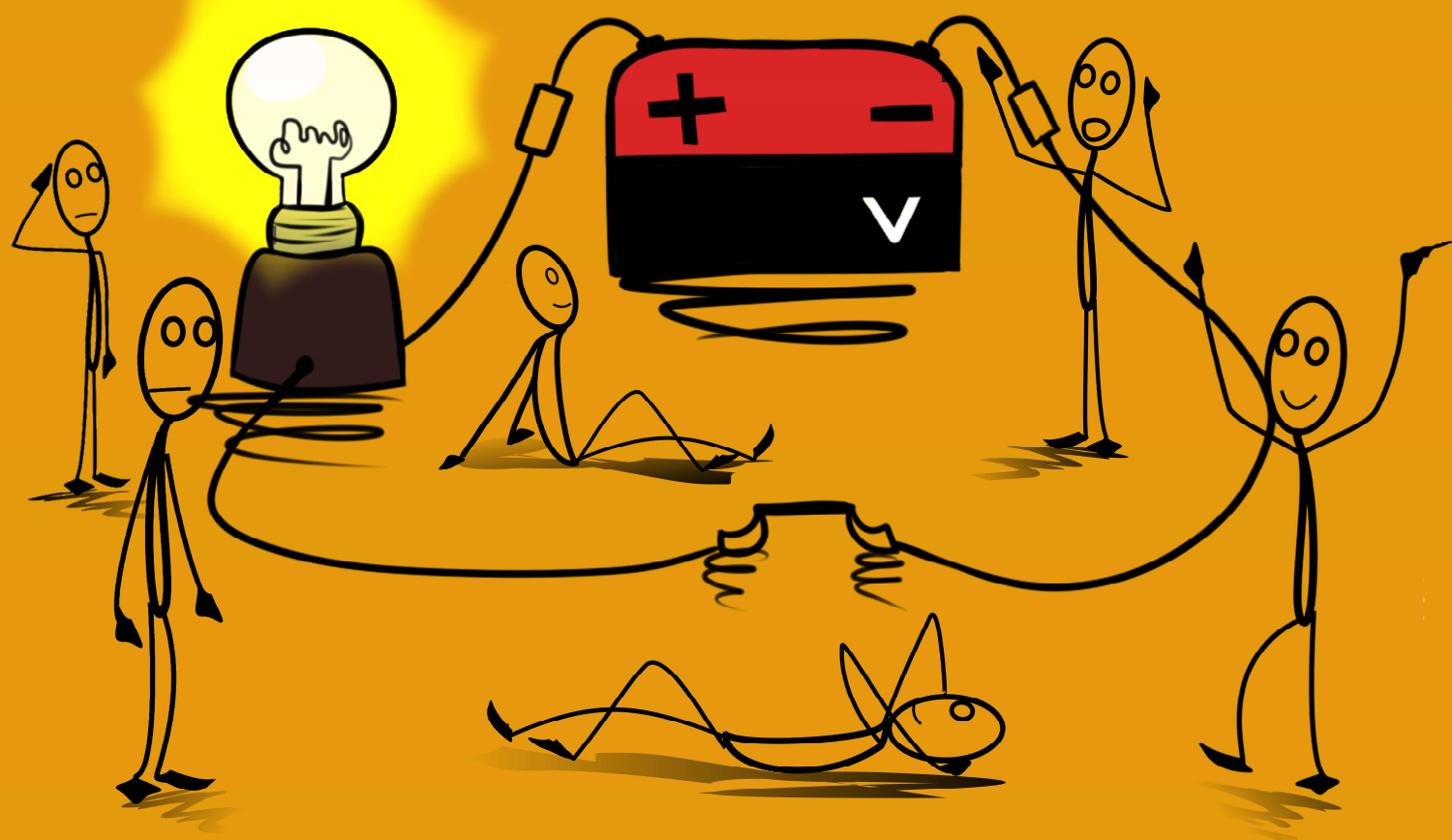
И ова тогаш се нарекува **целосна поправка на факторот на моќност**. Во практиката ова не може целосно да се исполни, па тогаш имаме **делумна компензација**. Се смета дека за вредности $\cos \varphi > 0,8$, постигнато е задоволително ниво на компензација.

Користена литература:

1. Чарлс К. Александер и Метју О. Садику, „Основи на електрични кола“, дел од проектот на Влада на РМ „Преведување на 1000 стручни и научни книги и учебници од кои се учи на врвните најреномирани Универзитети во САД и Англија“, спроведено преку МОН, 2017;
2. Леонид Грчев, „Основи на електротехника“, Универзитет Св. Кирил и Методиј во Скопје, Скопје, 2017;
3. Зоран Угуровски, „Основи на електротехниката-2“, Просветно дело Скопје, 2000;
4. Ружица Пешевска – Тримоска, „Збирка задачи по основи на електротехника II“, Скопје, 1996;
5. Ружица Пешевска – Тримоска, „Збирка задачи по основи на електротехника I“, Скопје, 1995;
6. д-р Марија Јоноска, „Електромагнетизам“, Универзитет Св. Кирил и Методија, Скопје, 1994;
7. д-р Љубен Јанев и м-р Лидија Олооска-Гагоска, „Основи на електротехниката-1“, Просветно дело Скопје, 1993;
8. д-р Гојко Л. Димиќ и м-р Михаило Д. Митриновиќ, „Збирка задатака из физике“, Граѓевинска књига Београд, 1991
9. м-р Љубен Јанев, „Основи на електротехниката-1“, Просветно дело Скопје, 1986;
10. Хилдегард А. Божиловиќ, Живојин А. Спасојевиќ и Градимир Н. Божиловиќ, „Збирка задатака из основа електротехнике“, I, II, III и IV део, Универзитет у Београду, Научна књига, 1978;
11. Емитер – македонско списание за наука и техника

Табела на електрични величини, нивно означување и основни единици мерки:

Електрични величини	Ознаки	Единица мерка
Количество електричество	Q	C - Кулон
Електростатичка сила	F	N – Њутн
Електростатичко поле	E	V/m – Волт на метар
Електричен потенцијал	φ	V – Волт
Електричен напон	U	V – Волт
Енергија	W	J - Џул
Капацитивност	C	F – Фарад
Отпорност	R	Ω - Ом
Спроводност	G	S – Сименс
Електрична струја	I	A – Ампер
Топлотна енергија на отпорник	A	J - Џул
Моќност на потрошувач	P	W – Ват
Магнетна индукција	B	T - Тесла
Магнетен флукс	Φ	Wb – Вебер
Магнетно поле	H	A/m – Ампер на метар
Индуктивност	L	H – Хенри
Фреквенција	F	Hz – Херц
Периода	T	s – секунда
Аголна брзина	ω	rad/s – радијан во секунда
Реактивна моќност	Q	VAr – ВолтАмпер реактивен
Привидна моќност	S	VA - ВолтАмпер



СОДРЖИНА

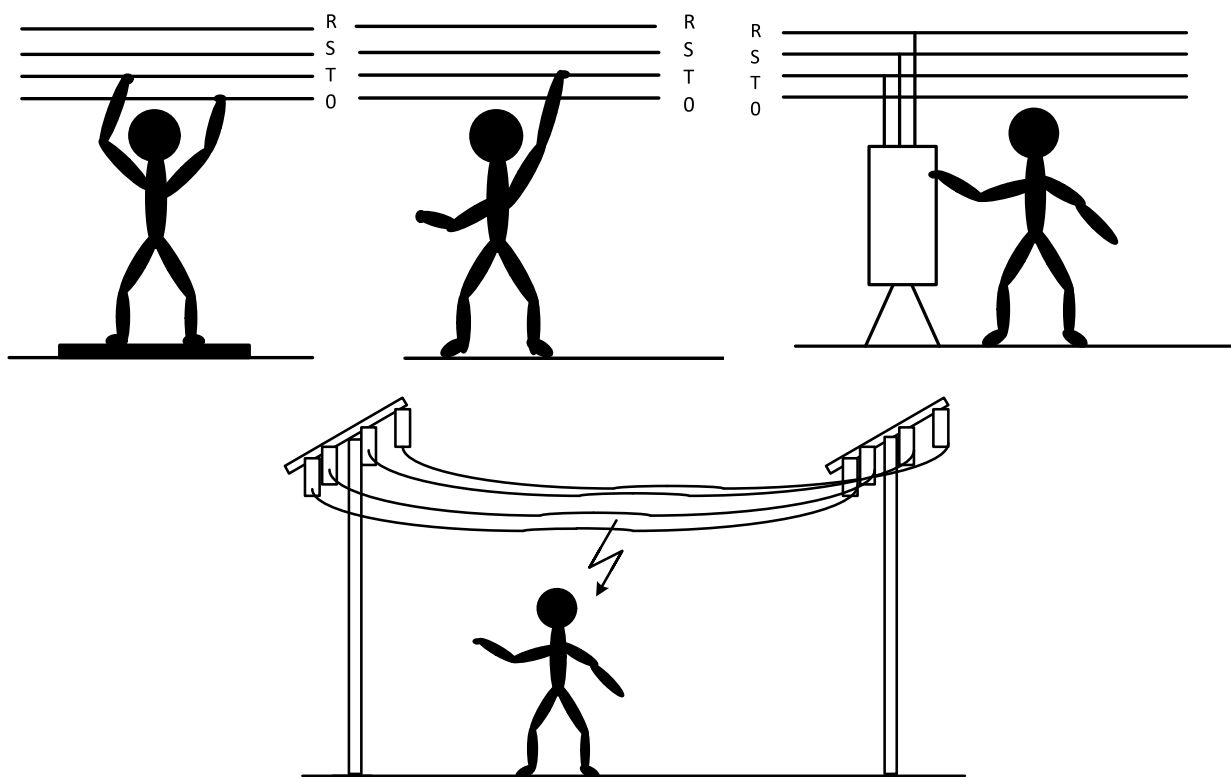
МЕРКИ ЗА ЛИЧНА ЗАШТИТА ПРИ РАБОТА И ЗА ЗАШТИТА НА ОКОЛИНАТА	3
Струен удар	3
Постапки при помош на настрадан од струен удар	4
Мерки за превенција	5
Работно место и заштита на околината	5
УНИВЕРЗАЛНИ МЕРНИ ИНСТРУМЕНТИ	6
Мерење со дигитален мултиметар	8
Мерење со аналоген мултиметар	8
УНИВЕРЗАЛНА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПЛОЧКА	9
УПАТСТВО ЗА КОРИСТЕЊЕ НА ПРОГРАМСКИОТ ПАКЕТ MULTISIM	10
Избор и поставување на компоненти	11
Манипулација со компонентите	11
Поврзување на компонентите (ожичување)	12
Додавање инструменти во струјното коло	12
Симулација	13
Вежба број 1	14
ПОЛНЕЊЕ И ПРАЗНЕЊЕ НА КОНДЕНЗАТОР	14
ПОВРЗУВАЊЕ НА КОНДЕНЗАТОРИ СПОРЕД ДАДЕНА ЕЛЕКТРИЧНА ШЕМА	14
МЕРЕЊЕ НА КАПАЦИТИВНОСТ	14
Вежба број 2	17
ПОВРЗУВАЊЕ НА КОНДЕНЗАТОРИ ВО СЕРИСКА И КОМБИНИРАНА ВРСКА	17
Вежба број 3	20
ПОВРЗУВАЊЕ НА ОТПОРНИЦИ СПОРЕД ДАДЕНА ЕЛЕКТРИЧНА ШЕМА	20
МЕРЕЊЕ ЕКВИВАЛЕНТНА ОТПОРНОСТ	20
Вежба број 4	23
ОМОВ ЗАКОН ВО ПРОСТО ЕЛЕКТРИЧНО КОЛО	23
МЕРЕЊЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕН НАПОН И ЈАЧИНА НА ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА	23
Вежба број 5	26
ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОВЕРКА НА ЦУЛОВИОТ ЗАКОН	26
Вежба број 6	29
ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОВЕРКА НА КИРХОФОВИТЕ ЗАКОНИ	29
Вежба број 7	32

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОВЕРКА НА ТЕВЕНЕНОВАТА ТЕОРЕМА	32
ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОВЕРКА НА МЕТОДОТ НА СУПЕРПОЗИЦИЈА	32
Вежба број 8.....	35
МЕРЕЊЕ НА ИНДУКТИВНОСТ	35
ИЗРАБОТКА НА ЕЛЕКТРОМАГНЕТ	35
Вежба број 9.....	37
МЕРЕЊЕ НА ИЗМЕНИЧНИ СТРУИ И НАПОНИ.....	37
ВО КОЛО СО ОМСКИ ОТПОРНИЦИ.....	37
Вежба број 10.....	40
АНАЛИЗА НА СЕРИСКА ВРСКА НА ОТПОРНИК И КАЛЕМ И	40
СЕРИСКА ВРСКА НА ОТПОРНИК И КОНДЕНЗАТОР	40
Вежба број 11.....	43
АНАЛИЗА НА ПАРАЛЕЛНА ВРСКА НА ОТПОРНИК И КАЛЕМ И	43
ПАРАЛЕЛНА ВРСКА НА ОТПОРНИК И КОНДЕНЗАТОР	43
Вежба број 12.....	46
АНАЛИЗА НА СЕРИСКО RLC КОЛО	46
АНАЛИЗА НА ПАРАЛЕЛНО RLC КОЛО	46
ПРИЛОЗИ	49
Кондензатори	49
Видови кондензатори	49
Читање на ознаките на кондензатори.....	49
Мерење на капацитивност	50
Електролитски кондензатор	51
Лед диода.....	52
Зујалка	52
Отпорници.....	53
Видови на отпорници	53
Обележување на отпорниците	54
Мерење на отпорност.....	55
Мерење електричен напон и јачина на електрична струја.....	56
Калеми.....	58
Обележување на калемите.....	58
Мерење на индуктивност	59

МЕРКИ ЗА ЛИЧНА ЗАШТИТА ПРИ РАБОТА И ЗА ЗАШТИТА НА ОКОЛИНАТА

Струен удар

Струен удар може да се случи ако човековото тело на некој начин стане дел од електрично струјно коло или, со други зборови кажано, ако низ телото на човекот протече електрична струја. Насоката на течење на струјата е од точка со повисок кон точка со понизок потенцијал. Тоа значи дека струен удар ќе се случи, на пример, ако човекот со едната рака допре спроводник или некој метален предмет кој е на некој потенцијал, а со друг дел од телото (другата рака, нозете) допре точка со понизок потенцијал. Исто така, струен удар може да се случи ако човекот се најде во непосредна близина на спроводник под висок напон.



Слика 1: Струен удар

Влијание на електричната струја врз човекот

Електричната струја што тече низ телото на човекот ги има следните влијанија:

- **Топотно влијание** – се манифестира со појава на изгореници на кожата, а во одредени случаи може да има изгореници и на внатрешните органи.
- **Механичко влијание** – се манифестира со нагло и неконтролирано грчење на мускулите, што може да доведе до паѓање и до механички повреди.
- **Хемиско влијание** – се манифестира со разградување на ткивата и електролиза на крвта под дејство на течење на еднонасочна електрична струја.

Дејството на електричната струја зависи од повеќе фактори:

- **Јачината на струјата** (струја од 1 mA е најмалата вредност на јачина на електрична струја што човекот може да ја почувствува во вид на пецкање; струја од 3 до 5 mA – треперење на прстите; струја од 5 до 10 mA предизвикува благо грчење на лакотот; струја од 10 до 20 mA предизвикува омалаксаност, грчење на мускулите, зголемен крвен притисок; струја од 20 до 30 mA предизвикува потење, грчење на мускулите на градниот кош, проследено со отежнато дишење; струја од 40 до 80 mA предизвикува фибрилација (парализираност) на срцето; струја од 100 mA се смета за смртоносна ако протекува за време од 3 секунди.
- **Патеката на струјата низ телото.** Најголеми се последиците, како и ризикот од смрт ако струјата поминува низ главата и низ градниот кош.
- **Времето на дејствување.** Подолготрајно дејство предизвикува поголеми последици.
- **Фреквенцијата.** Висината на фреквенцијата има влијание врз големината на повредите. Опасноста се намалува со растењето на фреквенцијата. Струи со фреквенции поголеми од 1000 Hz не се опасни и се користат при лекување.
- **Отпорот на изолацијата на облеката (обувките), како и на телото на човекот.** Помала отпорност на изолацијата на обувките или ракавиците, како и помала отпорност на телото на човекот доведува до протекување на струја со поголема јачина (Омов закон), а со тоа и до поголеми последици. Отпорноста на човековото тело се движи во границите од 1000 до 3000 Ω . Кај различни индивидуи, отпорноста на телото е различна, а зависи од внатрешната структура на телото: составот и влажноста на кожата, составот на коските, еластичноста на мускулите, структурата на крвта и на лимфната течност, ширината на крвните садови...). На пример, сувата кожа има голема отпорност (околу 500 k Ω), но водена или испотена кожа има мала отпорност (помала од 1 k Ω).
- **Полот и возраста.** Најчувствителни се децата, потоа жените, а најотпорни се врасните мажи.

Постапки при помош на настрадан од струен удар

1. Најпрво треба да се прекине електричното коло: да се извлече приклучокот, да се прекине струјното коло преку осигурувач или со помош на некој предмет кој е изолатор, на пример со помош на суво дрво, да се отргне настраданиот од изворот на струјниот удар. Притоа, спасителот треба на рацете да носи дебели гумени ракавици или да ги обвита рацете со сува ткаенина. Исто така, спасителот треба електрички да се изолира од подот со ставање на изолаторска подлога (гума или пластика). Ако во близина нема таква подлога, може да застане на каква било сува ткаенина, дел од облеката или свиткан покривач.
2. Откако е прекинуто електричното коло, се проверува дали настраданиот дише и дали има пулс. Ако нема пулс и/или дишење и ако жртвата не е во свесна состојба, веднаш треба да се викне брза помош. Доколку постои лице кое е обучено за вршење реанимација, може веднаш да започне со масажа на срцето и вештачко дишење.
3. Ако струјниот удар настанал како резултат на удар од гром, важат истите правила за помош, со тоа што безбедно е жртвата да се допре веднаш, односно не постои ризик од струен удар за оној кој ја дава помошта.

Мерки за превенција

При работа со електрична струја, потребно е да се биде максимално внимателен. Некои од основните правила кои мора да се почитуваат за да се спречи појава на струен удар се:

- Употреба на алати со изолирани дршки. Пред секое користење, секоја алатка треба внимателно да се прегледа да не има оштетување на изолацијата на некој дел.
- Кога нешто се поврзува или се врши некоја поправка на дефект, најдобро е да се исклучи изворот на напон.
- Неизолирани спроводници никако не смее да се допираат со голи раце.
- Максимално внимателно треба да се работи со сите електрични уреди, а особено со уреди кои немаат заштитно заземјување.
- Електролитските кондензатори се елементи кои имаат способност да складираат енергија. Кондензаторите го „задржуваат“ напонот на изводите и по исклучувањето од струјното коло“. Затоа треба да се испразнат. Празнењето се врши при исклучен уред, со кратко спојување на изводите на кондензаторот.
- При мерење под напон, секогаш треба да се провери изолацијата на мерните кабли.
- Не смее да се допира електрична опрема ако се наоѓате на мокар под или на метален под.
- Електричната опрема не смее да се допира со мокри раце.
- Не смее да се фаќа дел од ел. коло кое паѓа, а е под напон.
- Не смее истовремено да се допираат два дела на електрична опрема.
- Не смее да се допира спроводник, отпорник или ладилник на плочка што се испитува или се мери, а е под напон, бидејќи тие може да бидат жешки и да предизвикаат изгореници.
- Пожар предизвикан од електрична струја не се гаси со вода.
- Задолжително треба да се користат оригинални осигурувачи.

Работно место и заштита на околината

При изведување на каква било работа, безбедноста и здравјето на луѓето секогаш треба да се на прво место. Работното место во секој момент треба да е средено и чисто. Работната околина треба да исполнува одредени стандарди во врска со максимално дозволени нивоа на: бучава, вибрации, температура, осветленост, влажност на воздухот.

Освен грижата за чисто и безбедно работно место, секој има обврска да придонесува за заштита на животната средина.

Електричните и електронските уреди (компјутери, монитори, телефони, телевизори, батерии, акумулатори...) содржат елементи кои се опасни по здравјето на луѓето (олово, жива, кадмиум, арсен, берилиум, разни киселини...). Затоа искористените и веќе неупотребливи електрични и електронски уреди треба да се собираат на посебно место предвидено за таа намена. Тие не треба да се мешаат со останатиот отпад. Со такво постапување, секој придонесува за зачувување на животната средина и здравјето на луѓето. Овој отпад може да се рециклира и повторно да бидат искористени некои материјали кои ги има во електричните и електронските уреди (благородни метали, пластика, железо, бакар, алуминиум...).

За отстранување на електричниот и електронскиот отпад се повикува фирма која е овластена за негово собирање и транспортирање.

УНИВЕРЗАЛНИ МЕРНИ ИНСТРУМЕНТИ

Универзалните мерни инструменти, или како што уште се нарекуваат мултиметри, се користат за мерење на основните електрични величини: електричен напон, јачина на електрична струја и електрична отпорност. Денес, современите инструменти имаат можност да мерат и други величини: капацитивност, индуктивност, фреквенција... Некои модели на мултиметри имаат можност да мерат и неелектрични величини, како на пример температура.

Со помош на мултиметар може да се провери исправноста на некои електронски компоненти: отпорници, кондензатори, диоди, транзистори...

Во зависност од изведбата, постојат аналогни мултиметри (слика 2) и дигитални мултиметри (слика 3). Основна разлика (гледано од аспект на корисник на мерниот инструмент) е видот на индикаторот од којшто се отчитува вредноста на мерената величина, како и начинот на отчитување на вредноста на мерената величина.



Слика 2: Аналогни мерни инструменти



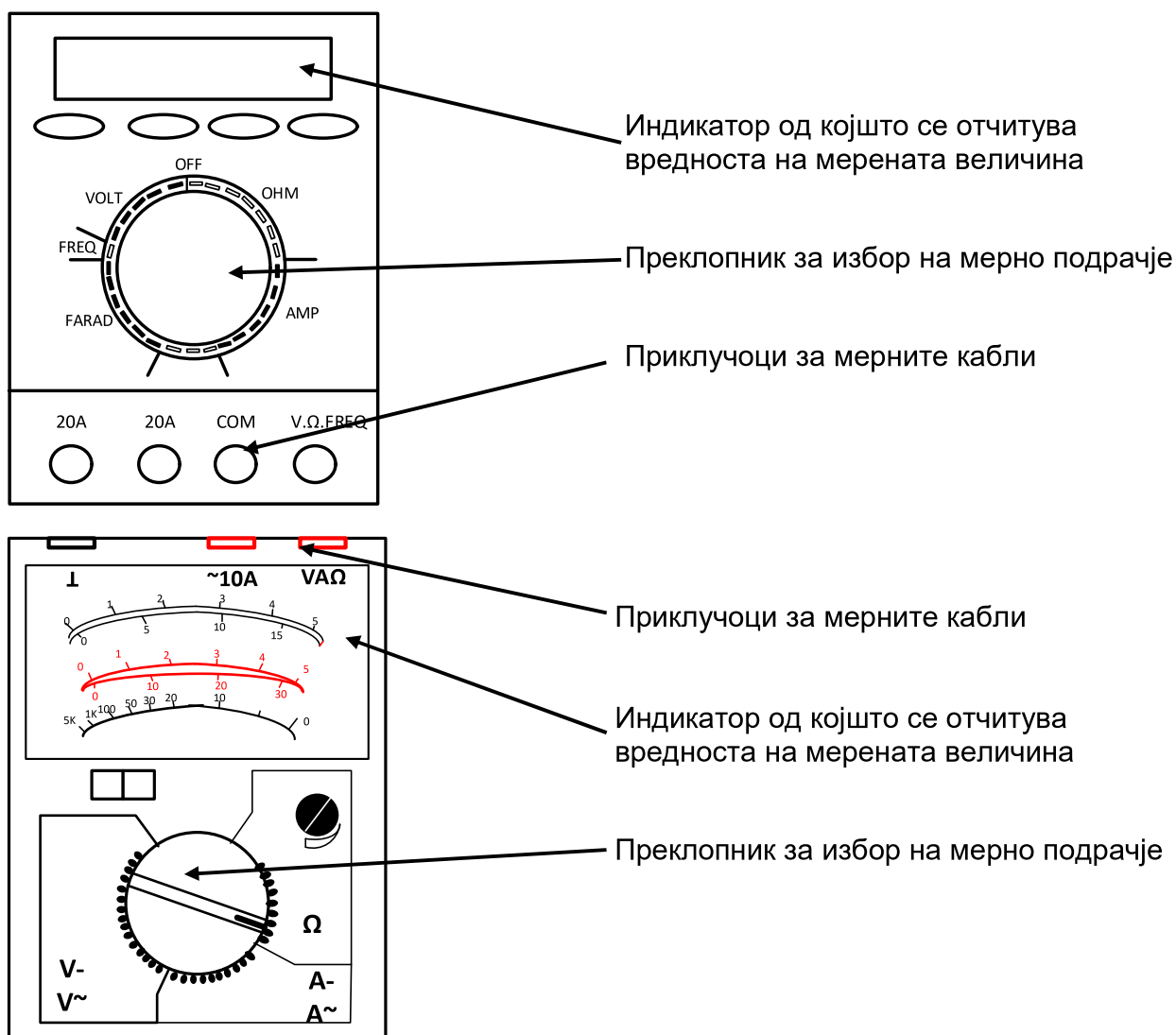
Слика 3: Дигитални мерни инструменти

Секој мултиметар ги има следните основни составни делови:

1. **Преклопник за избор на мерно подрачје.** Со вртење на преклопникот, корисникот избира мерно подрачје, односно се нагдува инструментот за работа како волтметар (мерно подрачје за мерење напон), како амперметар (мерно подрачје за мерење јачина на електричната струја) или како омметар (мерно подрачје за мерење отпорност). Во рамките на секое мерно подрачје има повеќе мерни опсези.

2. **Индикатор на којшто се отчитува вредноста на мерената величина.** Кај аналогните инструменти, индикаторот е механички и вредноста на мерената величина се отчитува според позицијата на мерната стрелка на баждарената мерна скала. Кај дигиталните мултиметри, како индикатор се користи повеќецифрен дисплеј.

3. **Приклучоци за мерните кабли**



Слика 4. Основни составни делови на дигитален и аналоген мултиметар

Ознаките за мерните подрачја, покрај преклопникот, може да се разликуваат кај различни производители на мерни инструменти. Најчесто користени ознаки се:

- Ω или OHM, за омска отпорност
- ACV, $V_{\approx}$, $\tilde{V}$ за наизменичен напон
- DCV, V_{--} , $\bar{V}$ за еднонасочен напон
- ACA, $A_{\approx}$, $\tilde{A}$ за наизменична струја
- DCA, A_{--} , $\bar{A}$ за еднонасочна струја

Во основа, начинот на мерење со аналоген и дигитален мултиметар се состои од следните неколку чекори:

1. Избор на мерно подрачје;
2. Избор на мерен опсег. При изборот на мерен опсег, можни се два случаја. Во случај кога не е позната вредноста на величината што треба да се мери, тогаш се избира највисокиот мерен опсег. Во случај ако е позната вредноста што треба да се измери, тогаш се избира првиот повисок мерен опсег од таа вредност.
3. Отчитување на вредноста на мерената големина. Отчитувањето на вредноста на мерената големина се разликува кај аналоген и дигитален мултиметар.

Мерење со дигитален мултиметар

Мерењето со помош на дигитален мултиметар ќе биде најточно во случај кога е избран мерен опсег во којшто резултатот е прикажан со најмногу цифри.

Кај дигиталните мултиметри, вредноста на мерената величина директно се отчитува на дисплејот на мерниот инструмент. При отчитување на резултатот, според позицијата на преклопникот треба да се забележи каков префикс има избраниот опсег (m – мили, K – кило, M – мега). Овој префикс се додава пред мерната единица на величината што се мери. Ако избраниот опсег нема префикс, тоа значи дека добиениот резултат е изразен во основната мерна единица на физичката величина што се мери.

Ако мерената величина е поголема од мерниот опсег, тоа нема да доведе до оштетување на мерниот инструмент, туку само на дисплејот ќе се испише цифра 1 или OL. При мерење еднонасочни величини со помош на дигитален мултиметар, во случај ако се замени позицијата на црниот и црвениот испитен кабел, мултиметарот нема да се оштети, а грешката ќе ја сигнализира со испишување „-“ пред мерниот резултат.

При мерење јачина на електрична струја, треба да се внимава затоа што ако мерената струја е поголема од избраниот мерен опсег, ќе дојде до прегорување на осигурувачот кој е вграден во инструментот.

Мерење со аналоген мултиметар

1. Избор на мерен опсег. За мерењето да биде колку што е можно поточно, треба да се избере мерен опсег во којшто мерната стрелка ќе биде во втората половина од мерната скала.
2. Одредување на мерната константа. Мерната константа се одредува така што горната граница на мерниот опсег се дели со вкупниот број поделоци на скалата. Мерењето ќе биде многу поедноставно доколку се избере мерна скала така што мерната константа ќе испадне број кој е лесен за множење (на пример 0,1; 1; 10 или 100).
3. Отчитување на резултатот. При мерењето, се одредува бројот на поделоците до позицијата на мерната стрелка и потоа овој број се множи со мерната константа, па на тој начин се добива мерниот резултат.

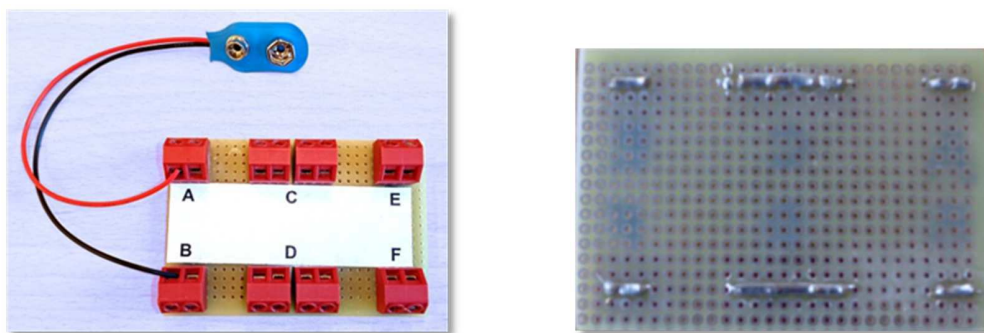
УНИВЕРЗАЛНА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПЛОЧКА

За изведување на практичните вежби се препорачува да се користат макети или универзална експериментална плочка. Во продолжение ќе биде даден опис на една универзална плочка што може да се користи како основа на којашто може да се испланираат и да се реализираат електричните кола за сите вежби од овој практикум.

Оваа мала експериментална плочка е изработена на перфорирана печатена плочка со димензии 5 x 7,5 cm. На плочката се поставени и се залемени 8 двополни клеми (PCB терминали). Изводите на терминалите се залемени и поврзани меѓу себе како на сликата десно. Со ова се добиени 6 јазли A, B, C, D, E и F преку кои ќе се формираат струјните кола. Како што се гледа од сликите, крајните јазли A, B, E и F се составени од по еден терминал со меѓусебно споени контакти и имаат по две дупчиња за поставување на изводите на елементите. Средните јазли C и D се составени од по два терминала со меѓусебно споени контакти, па тие јазли имаат по 4 дупчиња за поставување на изводите на елементите.

За да се формира некое струјно коло на оваа експериментална плочка, прво треба внимателно да се разгледа електричната шема на тоа коло, да се забележат јазлите на електричната шема и потоа да се нацрта план како ќе се постават елементите на плочката (монтажна шема), со цел да се добијат истите електрични врски како на електричната шема. Притоа, физичката поставеност на елементите на плочката не мора да биде еднаква како на електричната шема, но електричните врски **мора** да бидат еднакви.

За монтажа на колото, освен елементите, потребни се уште и спроводници со ПВЦ изолација и мал шрафцигер. Од краевите на спроводниците треба да се отстрани изолацијата во должина од 5 до 10 mm, а шрафцигерот служи за одвртување на шрафчињата од терминалите. Електричното струјно коло се формира на тој начин што се поставуваат елементите и спроводниците, според монтажната шема, со поставување на изводите на елементите и краевите на спроводниците во дупчињата од терминалите, и внимателно завртување на шрафчињата. Притоа треба да се внимава да не се помешаат елементите. Откако колото е монтирано, треба да се направи уште една целосна проверка дали сите врски и елементи се поставени правилно. Потоа колото може да се приклучи на извор на напон (вообичаено тоа е батерија, извор на еднонасочен напон или трансформатор) и да се спроведат предвидените мерења.



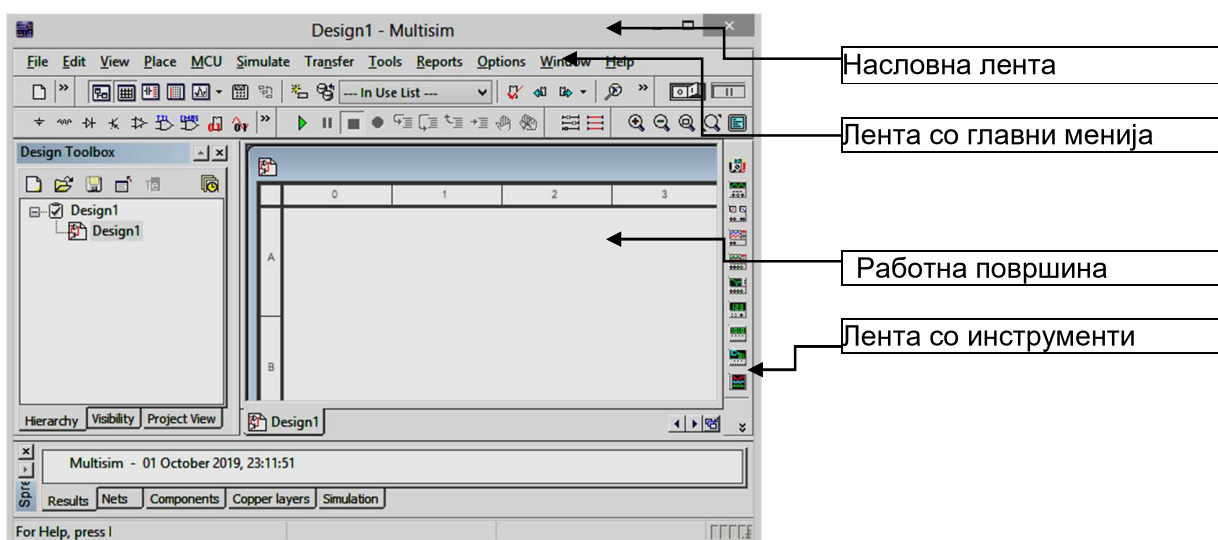
Слика 5. Универзална експериментална плочка

УПАТСТВО ЗА КОРИСТЕЊЕ НА ПРОГРАМСКИОТ ПАКЕТ MULTISIM

Целта на ова упатство е учениците да се запознаат со основните чекори при користење на програмите за проектирање и анализа на работата на струјни кола преку програмска симулација. Користејќи го стекнатото знаење, учениците на почетокот ќе креираат едноставни струјни кола, а потоа ќе можат да работат посложени струјни кола и да вршат мерења и анализи.

Програмскиот пакет Multisim е платформа за симулација на струјни кола, со чија помош може да се моделираат различни аналогни и дигитални струјни кола. Софтверот овозможува моделирање на кое било замислено струјно коло и испитување на неговата функционалност за различни вредности на компонентите. На корисникот му се достапни илјадници различни делови и компоненти.

Лиценцираната верзија на овој софтвер може да се преземе од веб-страницата www.ni.com/multisim. На веб-страницата може да се преземе истиот софтвер на пробен временски период од 30 дена, со цел да се согледаат неговите можности.

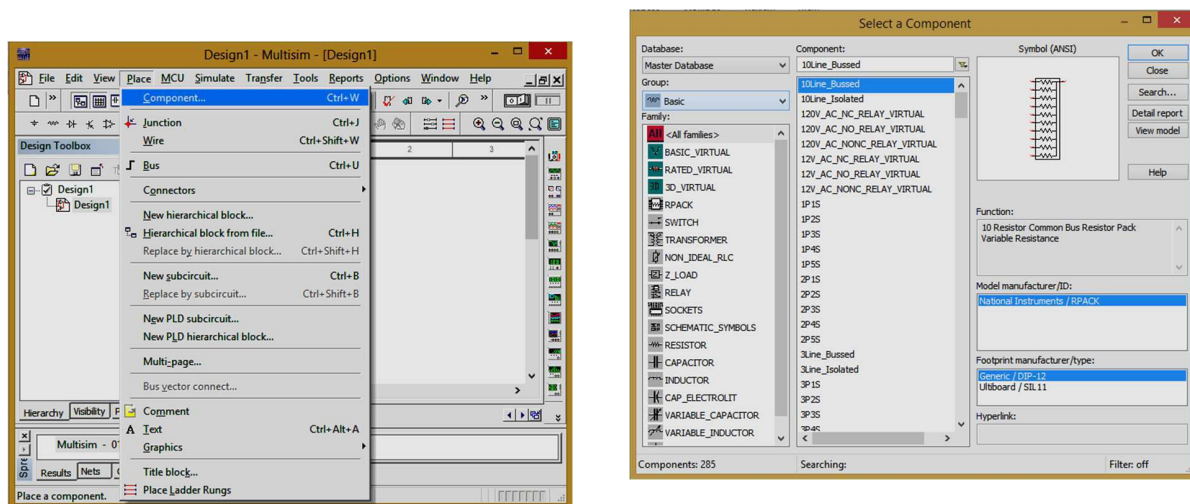


Слика 6. Работна површина (NI Multisim 14.0)

Со стартувањето на Multisim, се отвора работна површина за моделирање ново струјно коло. На насловната лента стои понудено име Design 1. За снимање на електричното струјно коло кое ќе се изведува под друго име, од лентата со главните менија се избира File – Save As и се впишува име по избор. За отварање на веќе постоечки документ се избира File – Open и се избира документот што треба да се отвори.

Избор и поставување на компоненти

Составувањето на струјното коло започнува со избор и поставување на елементите на работната површина. Од лентата со главните менија се избира Place -> Component. Се појавува прозорец како на Слика 7.



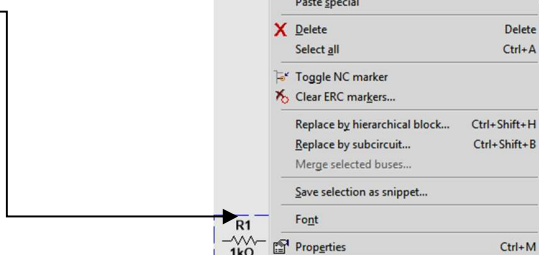
Слика 7. Поставување на компонентите

Тука се наоѓаат сите елементи кои се потребни за составување на струјното коло. За реализација на нашите вежби, потребни се отпорници (resistors), калемии (inductors), кондензатори (capacitors), извор на еднонасочен напон (VDC), извор на наизменичен напон и заземјување (ground).

Во паѓачкото мени Group се избира Basic и тука се наоѓаат елементите: отпорници, кондензатори и калемии. Со избор на некоја од овие компоненти, се појавува листа на стандардни вредности и толеранции. Со влечење, компонентата се вади на работната површина. Изворот на еднонасочен напон се наоѓа во паѓачкото мени Sources. За потребите на нашите вежби се избира елементот DC_Power. Од ова паѓачко мени се одбира и заземјувањето (ground).

Манипулација со компонентите

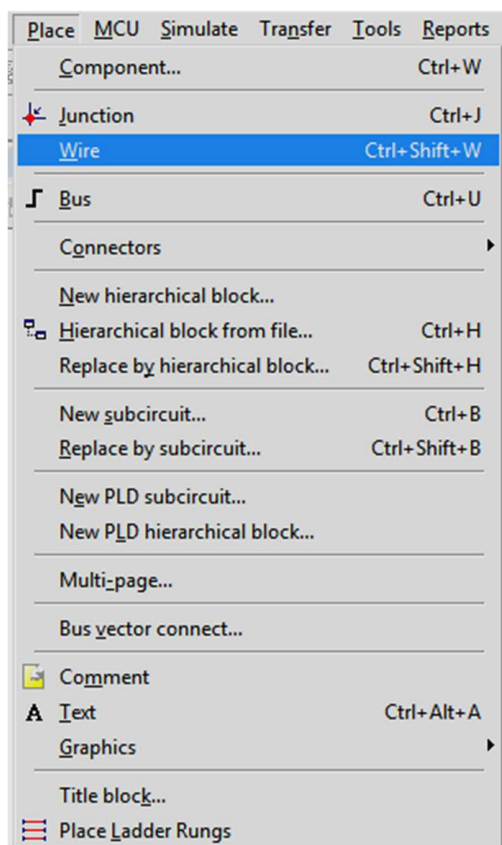
Со десен клик на глумчето врз некоја од компонентите се отвора прозорец кој овозможува различни операции над избраниот елемент.



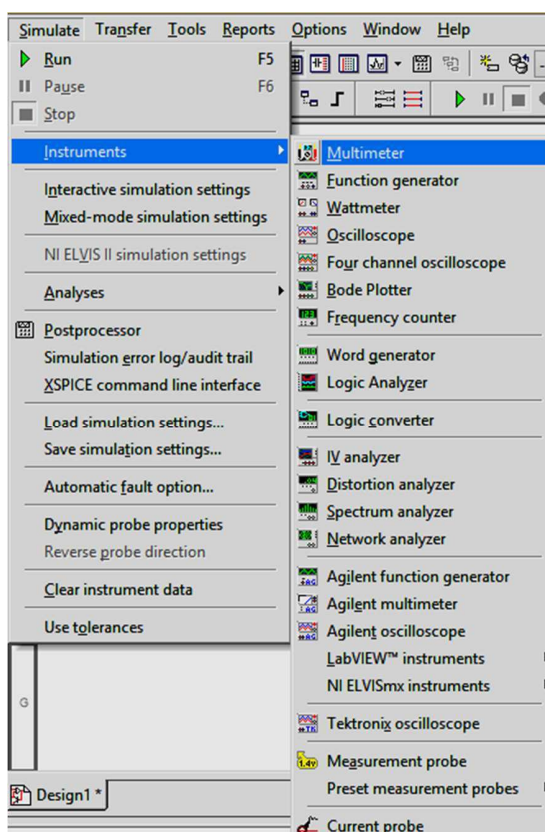
Слика 8. Манипулација со компонентите

Поврзување на компонентите (ожичување)

Од лентата со алатки се избира Place -> Wire. Спроводникот се поставува на тој начин што почетната позиција на спроводникот се определува со поставување на курсорот на тоа место. Со клик на левото копче на глумчето се фиксира почетокот, а потоа се повлекува до местото каде што спроводникот треба да заврши и на таа позиција се фиксира крајот со двоен клик на глумчето. Ако спроводникот треба да се прекршува, на местото на прекршувањето се клика со еден клик на глумчето, а потоа се продолжува понатаму.



Слика 9. Ожичување



Слика 10. Додавање инструменти

Додавање инструменти во струјното коло

Вообичаено, лентата со инструменти е поставена на десната страна од работната површина. Ако ја нема, тогаш треба да се извади преку паѓачкото мени View -> Toolbars -> Instruments. Избор на инструмент може да се изврши директно од лентата со инструменти или преку паѓачкото мени Simulate -> Instruments, од лентата со главни менија. За нашите вежби најчесто ќе користиме виртуелен мултиметар (multimeter).

Освен виртуелниот мултиметар, ќе се користат и инструментите волтметар (voltmeter) и амперметар (ammeter), кои се извлекуваат од лентата на главното мени Place -> Component -> Group -> Indicators -> Family -> Voltmeter (Ammeter).

За вежбите од модуларната единица Наизменични струи, ќе се користат и виртуелните инструменти: виртуелен функциски генератор и осцилоскоп. Виртуелниот функциски генератор ќе се користи за добивање наизменичен сигнал со синусен бранов облик, на кој може да се нагодува амплитудата и фреквенцијата. Со помош на осцилокопот ќе се следи брановиот облик на напоните. Овие инструменти се извлекуваат од истото паѓачко мени како и мултиметарот.

Нагодувањето на инструментите за мерење се врши со двоен клик над инструментот. Се појавува прозорец каде што се вршат сите потребни нагодувања.

Симулација

Симулацијата се стартува со избор на Run од паѓачкото мени Simulate или со притискање на копчето F5 од тастатурата. Симулацијата може да се стартува и со клик на копчето Run/Stop од лентата со алатки. Во текот на симулацијата може да се појават грешки кои се испишуваат во посебен прозорец. Во текот на симулацијата не е можно да се прават никакви промени на елементите или на мерните инструменти. Симулацијата може да се паузира со клик на копчето Simulate -> Pause. За повторно продолжување, по евентуални корекции, се притиска на Run/Stop.

Вежба број 1

**ПОЛНЕЊЕ И ПРАЗНЕЊЕ НА КОНДЕНЗАТОР
ПОВРЗУВАЊЕ НА КОНДЕНЗАТОРИ СПОРЕД ДАДЕНА ЕЛЕКТРИЧНА ШЕМА И
МЕРЕЊЕ НА КАПАЦИТИВНОСТ**

Цел на вежбата е учениците да го осознаат кондензаторот како елемент со основна карактеристика капацитивност и способност да акумулира енергија. Истовремено учениците за прв пат ќе се запознаат со мултиметарот кој ќе го користат за мерење на електричен напон и за мерење на капацитивност на кондензатори. Целта на вториот дел од вежбата е учениците да поврзуваат кондензатори во паралелна врска според дадена електрична шема и да мерат еквивалентна капацитивност.

Пред да преминете на реализација на оваа вежба потсетете се во врска со претходно изученото: кондензатори, капацитивност, видови кондензатори, основна мерна единица за капацитивност, помали и поголеми единици од основната, паралелна врска на кондензатори.

Краток опис на вежбата

Вежбата се состои од три дела:

- I. Полнење и празнење на кондензатор
- II. Мерење на капацитивност на кондензатори
- III. Поврзување на кондензатори во паралелна врска и мерење на еквивалентна капацитивност

Потребни материјали и опрема за реализација на вежбата:

За првиот дел од вежбата

1. Електролитски кондензатор со капацитивност $C = 470\mu F$ и максимално дозволен напон $U_{max} = 25V$
2. Пиезо зујалка (базер) , која може да издржи работен напон до 15V
3. Лед диода
4. Батерија од 9V
5. Макета или универзална експериментална плочка
6. Изолирани жици за поврзување
7. 2 тастери

За вториот дел од вежбата

1. Четири кондензатори со капацитивности C_1 , C_2 , C_3 и C_4
2. Дигитален мултиметар кој има подрачје за мерење на капацитивност (или друг инструмент кој е специјално наменет за мерење на капацитивност)
3. Универзална експериментална плочка

Задачи за домашна работа (Се препорачува домашната работа да биде зададена и решена пред часот предвиден за практична вежба):

Пресметајте еквивалентна капацитивност на:

1. два паралелно поврзани кондензатори со различни капацитивности
 $C_1 = \underline{\hspace{1cm}}$; $C_2 = \underline{\hspace{1cm}}$
2. два паралелно поврзани кондензатори со исти капацитивности
 $C_3 = C_4 = \underline{\hspace{1cm}}$
3. три паралелно поврзани кондензатори со капацитивности
 $C_1 = \underline{\hspace{1cm}}$; $C_2 = \underline{\hspace{1cm}}$; $C_3 = \underline{\hspace{1cm}}$

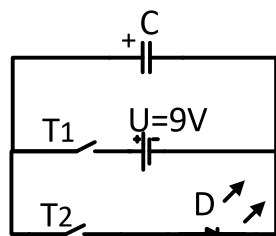
Вежба број 1 ПОЛНЕЊЕ И ПРАЗНЕЊЕ НА КОНДЕНЗАТОР ПОВРЗУВАЊЕ НА КОНДЕНЗАТОРИ СПОРЕД ДАДЕНА ЕЛЕКТРИЧНА ШЕМА И МЕРЕЊЕ НА КАПАЦИТИВНОСТ		
Модуларна единица: Електростатика	Време предвидено за реализација на вежбата 2 часа	
Ученик:	Клас	Прегледал професор

Измерете го напонот на батеријата $U = \text{_____}$ [].

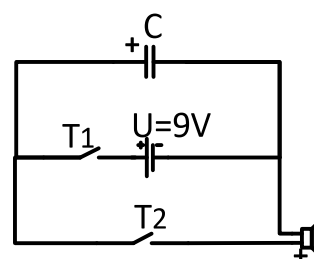
Во прилог 4 е објаснето мерењето на електричен напон со мултиметар.

На кое мерно подрачје го поставивте мултиметарот при мерењето? На кој мерен опсег го извршивте мерењето (Која беше позицијата на преклопникот) ?

Според електричната шема прикажана на слика 1.1.a) составете струјно коло (видете објаснување за елементите во Прилозите 1 и 2)



a)



б)

Слика 1.1

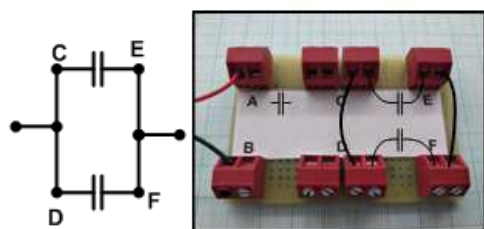
Притиснете го тастерот T_1 . Држете го тастерот притиснат неколку секунди, а потоа отпуштете го. Што се случува кога е притиснат тастерот T_1 ? Во моментот на притискање на тастерот T_1 се затвара струјно коло кое го сочинуваат батеријата и кондензаторот. Кондензаторот почнува да се полни, а напонот на неговите краеве почнува да расте. По отпуштање на тастерот, кондензаторот е наполнет и напонот на неговите краеве е еднаков со напонот на батеријата.

1. Притиснете го тастерот T_2 . Со притискање на тастерот T_2 сега се затвара струјно коло кое го сочинуваат батеријата и лед диодата. Сега кондензаторот се однесува како извор на напон. Диодата е директно поврзана на напон од 9 V, низ неа ќе протече струја и ќе почне да свети. Кондензаторот ќе почне да се празни, напонот на неговите краеве постепено ќе опаѓа. Набљудувајте што се случува со диодата! Дадете свое толкување на тоа.

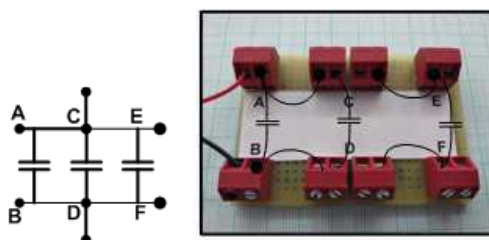
Составете струјно коло според електричната шема на слика 1.1.б). Оваа електрична шема е иста со претходната со тоа што место диода како потрошувач тука е употребена пиезо зујалка. Повторете ја вежбата со ова струјно коло. Објаснете што се случува сега во ова коло.

1. Измерете ја капацитивноста на дадените кондензатори (Видете објаснување во прилог 1). Измерените вредности запишете ги во табелата. Забележете на кој мерен опсег го вршете мерењето.

Кондензатор	C_1	C_2	C_3	C_4
Измерена капацитивност				
Мерен опсег				



Слика 1.2



Слика 1.3

Поврзете ги кондензаторите C_1 и C_2 паралелно (Слика 1.2). Измерете ја еквивалентната капацитивност. Забележете ја измерената вредност во табелата на соодветното место. Поврзете ги кондензаторите C_3 и C_4 паралелно. Измерете ја еквивалентната капацитивност. Забележете ја измерената вредност во табелата на соодветното место. Запишете ги во табелата на соодветното место теоретските вредности на пресметаната еквивалентна капацитивност во двата случаи.

Паралелна врска на два кондензатори со различни капацитивности		Паралелна врска на два кондензатори со исти капацитивности	
Измерена вредност	Теоретска вредност	Измерена вредност	Теоретска вредност

Поврзете ги кондензаторите C_1 , C_2 и C_3 паралелно (Слика 1.3). Измерете ја еквивалентната капацитивност. Забележете ја измерената вредност во табелата.

Паралелна врска на три кондензатори	
Измерена вредност	Теоретска вредност

Анализирајте ги добиените резултати во сите три случаи. Направете споредба на измерените и пресметаните вредности. Коментирајте ги вашите согледувања.

Вежба број 2

**ПОВРЗУВАЊЕ НА КОНДЕНЗАТОРИ ВО СЕРИСКА И КОМБИНИРАНА ВРСКА
СПОРЕД ДАДЕНА ЕЛЕКТРИЧНА ШЕМА И
МЕРЕЊЕ НА ЕКВИВАЛЕНТНА КАПАЦИТИВНОСТ**

Цел на вежбата е учениците да поврзуваат кондензатори во сериски и комбинирани врски според дадена електрична шема и да мерат еквивалентни капацитивности.

Пред да преминете на реализација на оваа вежба потсетете се во врска со претходно изученото: кондензатори, капацитивност, видови кондензатори, основна мерна единица за капацитивност, помали и поголеми единици од основната, сериска и паралелна врска на кондензатори.

Краток опис на вежбата

Вежбата се состои од три дела:

- I. Мерење на капацитивност на кондензатори
- II. Поврзување на кондензатори во сериска врска и мерење на еквивалентна капацитивност
- III. Поврзување на кондензатори во комбинирана врска и мерење на еквивалентна капацитивност

Потребни материјали и опрема за реализација на вежбата:

1. Четири кондензатори со капацитивности C_1 , C_2 , C_3 и C_4

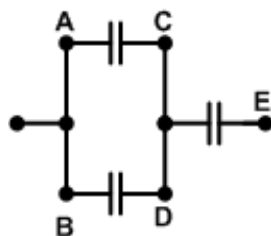
Дигитален мултиметар кој има подрачје за мерење на капацитивност (или друг инструмент кој е специјално наменет за мерење на капацитивност)

2. Универзална експериментална плочка

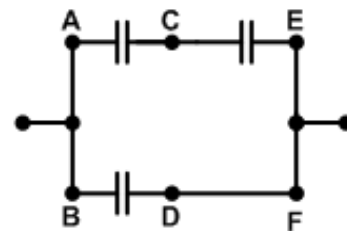
Задачи за домашна работа (Се препорачува да бидат зададени и решени пред часот предвиден за практична вежба):

Пресметајте еквивалентна капацитивност на:

1. два сериски поврзани кондензатори со различни капацитивности
 $C_1 = \underline{\hspace{1cm}}$; $C_2 = \underline{\hspace{1cm}}$
2. два сериски поврзани кондензатори со исти капацитивности
 $C_3 = C_4 = \underline{\hspace{1cm}}$
3. три сериски поврзани кондензатори со капацитивности
 $C_1 = \underline{\hspace{1cm}}$; $C_2 = \underline{\hspace{1cm}}$; $C_3 = \underline{\hspace{1cm}}$
4. Три кондензатори со капацитивности $C_1 = \underline{\hspace{1cm}}$; $C_2 = \underline{\hspace{1cm}}$, $C_3 = \underline{\hspace{1cm}}$ поврзани во комбинирана врска според:
 - а) шема 1 ;
 - б) шема 2



а) шема 1



б) шема 2

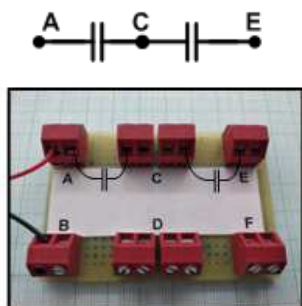
Слика 2.1

Вежба број 2 ПОВРЗУВАЊЕ НА КОНДЕНЗАТОРИ ВО СЕРИСКА И КОМБИНИРАНА ВРСКА СПОРЕД ДАДЕНА ЕЛЕКТРИЧНА ШЕМА И МЕРЕЊЕ НА ЕКВИВАЛЕНТНА КАПАЦИТИВНОСТ		
Модуларна единица: Електростатика	Време предвидено за реализација на вежбата 2 часа	
Ученик:	Клас	Прегледал професор

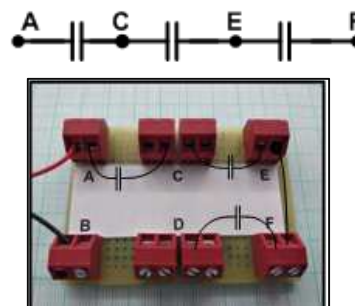
I. Мерење на капацитивност на кондензатори

- Измерете ја капацитивноста на дадените кондензатори (Видете објаснување во прилог 1).
- Вредностите запишете ги во табелата. Забележете на кој мерен опсег го вршете мерењето.

Кондензатор	C_1	C_2	C_3	C_4
Измерена капацитивност				
Мерен опсег				



Слика 2.2



Слика 2.3

II. Поврзување на кондензатори во сериска врска и мерење на еквивалентна капацитивност

- Поврзете ги кондензаторите C_1 и C_2 сериски (Слика 2.2). Измерете ја еквивалентната капацитивност. Забележете ја измерената вредност во табелата на соодветното место.
- Поврзете ги кондензаторите C_3 и C_4 сериски. Измерете ја еквивалентната капацитивност. Забележете ја измерената вредност во табелата на соодветното место.
- Запишете ги во табелата на соодветното место теоретските (пресметаните) вредности на еквивалентната капацитивност во двата случаи.

Сериска врска на два кондензатори со различни капацитивности		Сериска врска на два кондензатори со исти капацитивности	
Измерена вредност	Теоретска вредност	Измерена вредност	Теоретска вредност

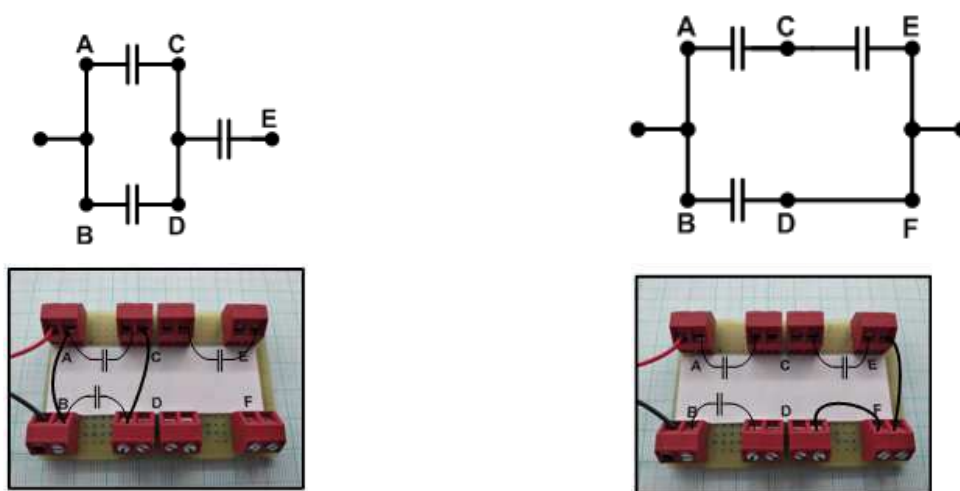
- Поврзете ги кондензаторите C_1 , C_2 и C_3 сериски (Слика 2.3). Измерете ја еквивалентната капацитивност. Забележете ја измерената вредност во табелата.

Сериска врска на три кондензатори	
Измерена вредност	Пресметана вредност

5. Анализирајте ги добиените резултати во сите три случаи. Направете споредба на измерените и пресметаните вредности. Коментирајте ги вашите согледувања

III. Поврзување на кондензатори во комбинирана врска и мерење на еквивалентна капацитивност

1. Поврзете ги кондензаторите C_1 , C_2 и C_3 комбинирано според шема 1. Измерете ја еквивалентната капацитивност. Забележете ја измерената вредност во табелата. Поврзете ги кондензаторите C_1 , C_2 и C_3 комбинирано според шема 2. Измерете ја еквивалентната капацитивност и забележете ја измерената вредност во табелата.



а) Шема 1

б) Шема 2

Слика 2.4

2. Запишете ги во табелата теоретските вредности на еквивалентните капацитивности добиени со пресметка за комбинираните врски на кондензаторите C_1 , C_2 и C_3 според шема 1 односно шема 2

Шема 1		Шема 2	
Измерена вредност	Теоретска вредност	Измерена вредност	Теоретска вредност

3. Анализирајте ги добиените резултати. Направете споредба на измерените и пресметаните вредности. Коментирајте ги вашите согледувања.

Вежба број 3

ПОВРЗУВАЊЕ НА ОТПОРНИЦИ СПОРЕД ДАДЕНА ЕЛЕКТРИЧНА ШЕМА МЕРЕЊЕ ЕКВИВАЛЕНТНА ОТПОРНОСТ

Цел на вежбата е практична примена на изучените содржини на часовите предвидени за теоретска настава: мерење отпорност, поврзување на отпорници според дадена електрична шема, експериментална проверка на релациите за еквивалентна отпорност кај паралелна и сериска врска на отпорници.

Потребни предзнаења. Пред да преминете на реализација на оваа вежба, **потсетете се** во врска со претходно изученото: отпорници, отпорност, видови отпорници, основна мерна единица за отпорност, помали и поголеми единици од основната, сериска и паралелна врска на отпорници.

Опис на вежбата: Вежбата се состои од четири дела.

- I. Мерење отпорност на отпорници.
- II. Поврзување на два отпорника и мерење еквивалентна отпорност.
 - a. Сериско и паралелно поврзување на два отпорника со **различни** отпорности;
 - b. Сериско и паралелно поврзување на два отпорника со **исти** отпорности.
- III. Сериско и паралелно поврзување на три отпорници.
- IV. Комбинирано поврзување на три отпорници.

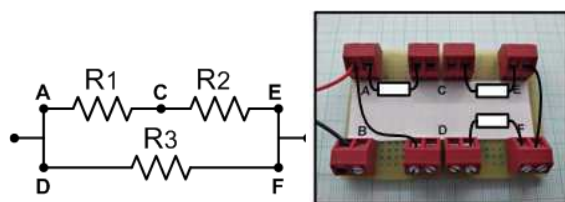
Потребни материјали и опрема за реализација на вежбата:

1. Четири отпорници
2. Мултиметар
3. Универзална експериментална плочка и кабли за поврзување

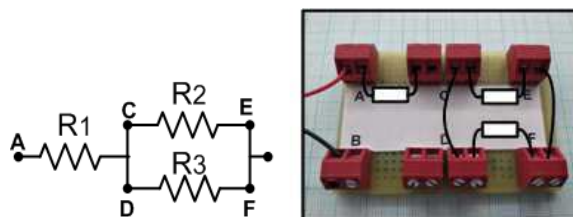
Се препорачува сите пресметки да се направат како **домашна работа** пред часот предвиден за практична вежба.

Задача: Пресметајте еквивалентна отпорност на:

1. Два отпорника со отпорности $R_1 = ___\Omega$; $R_2 = ___\Omega$, ако се: А) сериски поврзани; Б) паралелно поврзани
2. Два отпорника со иста отпорност $R_3 = ___\Omega$ и $R_4 = ___\Omega$, ако се: А) сериски поврзани; Б) паралелно поврзани
3. Три отпорници со отпорности $R_1 = ___\Omega$; $R_2 = ___\Omega$, $R_3 = ___\Omega$ ако се: А) сериски поврзани; Б) паралелно поврзани
4. Три отпорници со отпорности $R_1 = ___\Omega$; $R_2 = ___\Omega$, $R_3 = ___\Omega$ поврзани во комбинирана врска според: а) шема 1; б) шема 2



а) Шема 1



б) Шема 2

Слика 3.1

Вежба број 3 ПОВРЗУВАЊЕ НА ОТПОРНИЦИ СПОРЕД ДАДЕНА ЕЛЕКТРИЧНА ШЕМА МЕРЕЊЕ НА ЕЛЕКТРИЧНА ОТПОРНОСТ		
Модуларна единица: <i>Постојани струи</i>	Време предвидено за реализација на вежбата: 2 часа	
Ученик:	Клас	Прегледал професор

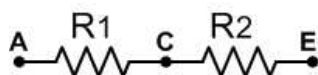
I.

1. Измерете ја отпорноста на дадените отпорници (видете објаснување во Прилог 3). Вредностите запишете ги во табелата. Забележете на кој мерен опсег го вршевате мерењето.

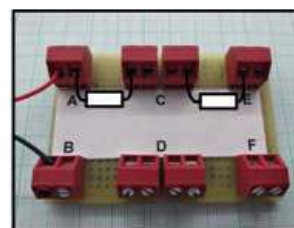
Отпорник	R_1	R_2	R_3	R_4
Измерена отпорност				
Мерен опсег				

II.

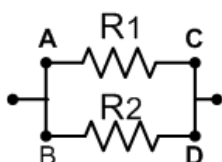
1. Поврзете ги сериски отпорниците R_1 и R_2 (слика 3.2). Измерете ја еквивалентната отпорност. Забележете ја измерената вредност во табелата.



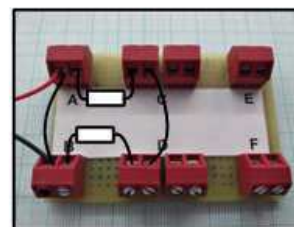
Слика 3.2



2. Поврзете ги отпорниците R_1 и R_2 паралелно (слика 3.3) Измерете ја еквивалентната отпорност и забележете ја измерената вредност во табелата.



Слика 3.3



Сериска врска на R_1 и R_2		Паралелна врска на R_1 и R_2	
Измерена вредност	Пресметана вредност	Измерена вредност	Пресметана вредност

3. Анализирајте ги добиените резултати. Направете споредба на измерените и теоретските (пресметаните) вредности. Коментирајте ги вашите согледувања.

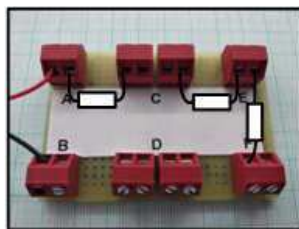
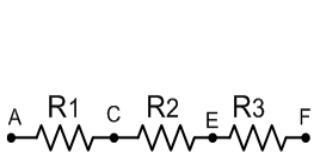
4. Повторете ја постапката со отпорниците R_3 и R_4 . Поврзете ги паралелно и измерете ја еквивалентната отпорност на паралелната врска. Потоа поврзете ги сериски и измерете ја еквивалентната отпорност на сериската врска.

Сериска врска на R_3 и R_4		Паралелна врска на R_3 и R_4	
Измерена вредност	Пресметана вредност	Измерена вредност	Пресметана вредност

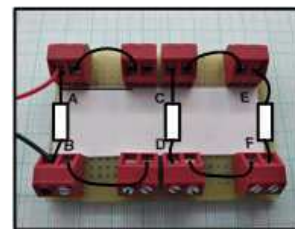
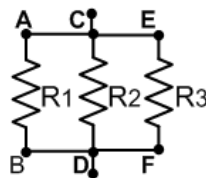
5. Анализирајте ги добиените резултати. Направете споредба на измерените и теоретските (пресметаните) вредности. Коментирајте ги вашите согледувања.

III

1. Поврзете ги сериски отпорниците R_1, R_2 и R_3 (слика 3.4.а)) и измерете ја еквивалентната отпорност. Потоа поврзете ги паралелно отпорниците R_1, R_2 и R_3 (слика 4б)) и измерете ја еквивалентната отпорност.



Слика 3.4



Слика 3.4

Сериска врска на R_1, R_2 и R_3		Паралелна врска на R_1, R_2 и R_3	
Измерена вредност	Пресметана вредност	Измерена вредност	Пресметана вредност

2. Анализирајте ги добиените резултати. Направете споредба на измерените и теоретските (пресметаните) вредности. Коментирајте ги вашите согледувања.

IV

1. Поврзете ги отпорниците R_1, R_2 и R_3 комбинирано (слика 1а)). Измерете ја еквивалентната отпорност. Потоа поврзете ги комбинирано, како на слика 1б) и измерете ја еквивалентната отпорност.

Шема 1		Шема 2	
Измерена вредност	Пресметана вредност	Измерена вредност	Пресметана вредност

2. Анализирајте ги добиените резултати. Направете споредба на измерените и теоретските (пресметаните) вредности. Коментирајте ги вашите согледувања.

Вежба број 4

ОМОВ ЗАКОН ВО ПРОСТО ЕЛЕКТРИЧНО КОЛО
МЕРЕЊЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕН НАПОН И ЈАЧИНА НА ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА

Цел на вежбата е практична примена на изучените содржини на часовите предвидени за теоретска настава:

1. Практична проверка на важењето на Омовиот закон за просто електрично коло
2. Мерење на еднонасочен електричен напон и јачина на електрична струја

Потребни предзнаења. Пред да преминете на реализација на оваа вежба, **потсетете се** во врска со претходно изученото: основните електрични величини и нивните мерни единици: јачина на електрична струја, електричен напон, електрична отпорност; зависноста помеѓу овие величини во просто електрично коло (**Омов закон**).

Практичната вежба опфаќа:

1. Реализација на струјно коло според дадена електрична шема;
2. Мерење јачина на електрична струја и електричен напон;
3. Анализа на резултатите (споредба на измерените и пресметаните вредности) со извлекување заклучоци;
4. Пополнување елаборат;
5. Цртање струјно напонска карактеристика.

Потребни материјали и опрема за реализација на вежбата:

1. Отпорник $R = \text{_____}$ (вредноста на отпорноста на отпорникот ќе ви ја каже наставникот, пред реализацијата на вежбата. Пресметките во домашната задача ги вршите со дадената вредност);
2. Извор на еднонасочен напон со регулација;
3. Два мултиметри (вежбата може да се реализира и со користење на еден мултиметар, со тоа што при секое мерење ќе треба да се менува мерното подрачје);
4. Универзална експериментална плочка.

Се препорачува сите пресметки да се направат како **домашна работа** пред часот предвиден за практична вежба.

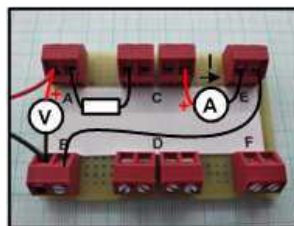
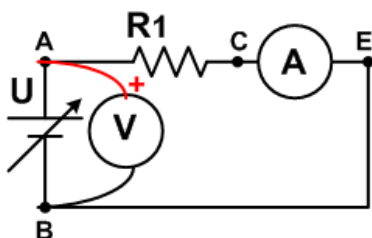
Задача: Со примена на Омовиот закон за просто струјно коло, пресметајте ја јачината на електричната струја во следните случаи: $U = 2V; U = 4V; U = 6V; U = 8V; U = 10V; R =$

U[V]	2V	4V	6V	8V	10V
I [mA]					

Вежба број 4 ОМОВ ЗАКОН ВО ПРОСТО ЕЛЕКТРИЧНО КОЛО МЕРЕЊЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕН НАПОН И ЈАЧИНА НА ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА		
Модуларна единица: <i>Постојани струи</i>	Време предвидено за реализација на вежбата: 2 часа	
Ученик:	Клас	Прегледал професор

Тек на вежбата

- Со помош на мултиметар поставен на соодветното мерно подрачје за мерење на електрична отпорност, измерете го дадениот отпорник $R = \underline{\hspace{2cm}}$
- Реализирајте го колото прикажано на слика 2, на макета или на експериментална плочка.



Слика 4.1

- Волтметарот поврзете го паралелно со изворот на напон. Следејќи го покажувањето на мултиметарот, зголемувајте го напонот и нагодете ги вредностите што се дадени во табелата. При секое нагудување, запишете во табелата на кој мерен опсег е поставен преклопникот на инструментот.
- Прочитајте го покажувањето на амперметарот. Прочитаната вредност запишете ја во табелата на соодветното место. Запишете го и мерниот опсег на кој е вршено мерењето.

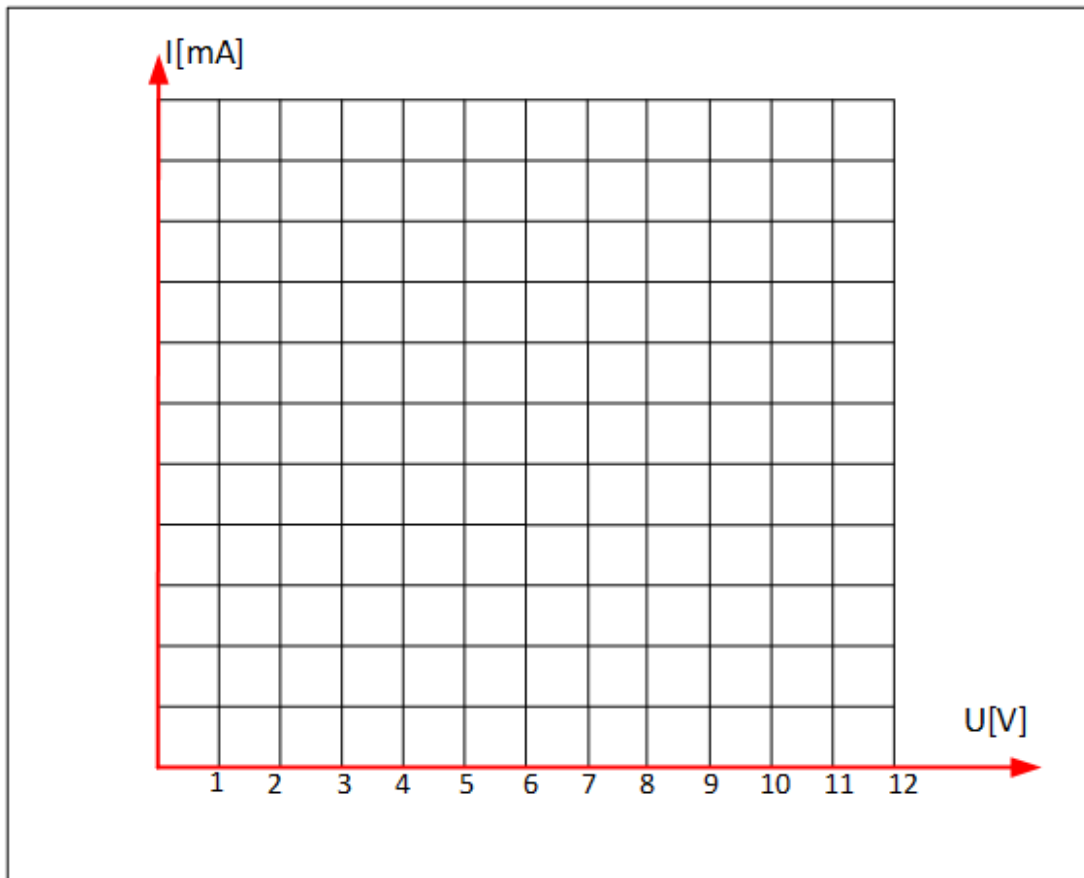
U [V]	2V	4V	6V	8V	10V
Мерен опсег					
I [mA]					
Мерен опсег					

- Споредете ги измерените вредности на јачината на електричната струја со теоретски пресметаните вредности во домашната задача.

U [V]	2V	4V	6V	8V	10V
I [mA] Пресметана вредност					
I [mA] Измерена вредност					

- Дали пресметаните вредности се разликуваат од измерените вредности? Зошто?

7. Од вредностите во табелата, нацртај ја графичката зависност на јачината на електричната струја од електричниот напон.



8. Како зависи јачината на електричната струја од електричниот напон? Со зголемувањето на напонот, дали јачината на струјата се зголемува или се намалува?

Вежба број 5

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОВЕРКА НА ЏУЛОВИОТ ЗАКОН

Цел на вежбата е практична проверка на важењето на Џуловиот закон.

Потребни предзнаења. Пред да преминете на реализација на оваа вежба, **потсетете се** во врска со претходно изученото: Џулов закон, електрична енергија, работа и моќност, мерни единици за енергија, работа и моќност.

Практичната вежба опфаќа:

- I. Реализација на струјно коло според дадена електрична шема
- II. Мерење јачина на електрична струја и електричен напон
- III. Анализа на резултатите со извлекување заклучоци
- IV. Пополнување елаборат

Потребни материјали и опрема за реализација на вежбата:

1. Извор на еднонасочен напон со регулација (0÷30)V
2. Три отпорници со отпорности R_1 , R_2 и R_3
3. Макета или универзална експериментална плочка
4. Мултиметар

Се препорачува сите пресметки да се направат како **домашна работа**, пред часот предвиден за практична вежба.

Задача: За електричното коло прикажано на слика 5.1 кое претставува сериска врска на три отпорници поврзани на извор на еднонасочен напон да се пресмета:

- Јачината на електричната струја I
- Напоните на краевите на секој од отпорниците U_1 , U_2 , U_3
- Електричната моќност која се дисипира на секој од отпорниците (P_1 , P_2 , P_3) како и вкупната моќност во колото P

($R_1 = \text{___} \Omega$; $R_2 = \text{___} \Omega$, $R_3 = \text{___} \Omega$, $U = \text{_____} [\text{ V }]$)

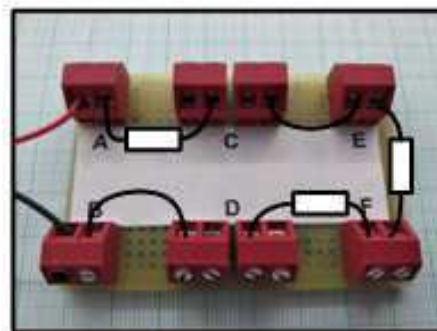
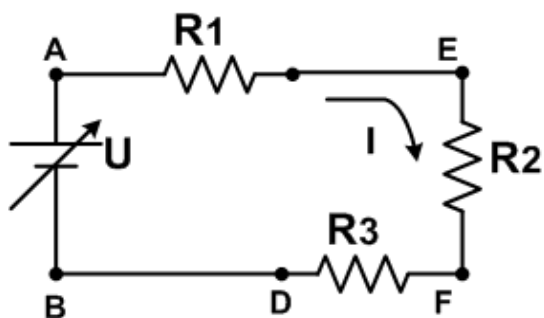
Вежба број 5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОВЕРКА НА ЦУЛОВИОТ ЗАКОН		
Модуларна единица: Постојани струи	Време предвидено за реализација на вежбата: 2 часа	
Ученик:	Клас	Прегледал професор

Тек на вежбата

- Измерете ги отпорностите на дадените отпорници. Запишете ја измерената вредност и мерниот опсег на кој го вршете мерењето.

	R_1	R_2	R_3
Измерена вредност [K Ω]			
Мерен опсег			

- Според дадената ел. шема, формирајте електрично струјно коло (слика 1).



Слика 5.1

- Поврзете го волтметарот на краевите на изворот на напон и нагодете $U=10V$.
- Измерете ги напоните на краевите на секој од отпорниците. Измерените вредности и мерните опсези на кои го вршете секое од мерењата запишете ги на соодветното место во табелата.
- Измерете ја јачината на електричната струја што протекува низ колото. Измерената вредност запишете ја на соодветното место во табелата.

$U = 10V$, $I = \text{_____} [mA]$			
	U_1	U_2	U_3
Измерена вредност [V]			
Мерен опсег			

6. Одредете ја електричната моќност која се дисипира на секој од отпорниците и вкупната моќност во колото. Повторете ја пресметката со секоја од дадените формули.

	P_1	P_2	P_3	P
$U = \text{_____} [\text{ }]$ $I = \text{_____} [\text{ }]$	$P_1 = U_1 \cdot I$	$P_2 = U_2 \cdot I$	$P_3 = U_3 \cdot I$	$P = U \cdot I$
$R_1 = \text{_____} [\text{ }]$ $R_2 = \text{_____} [\text{ }]$ $R_3 = \text{_____} [\text{ }]$				
$U_1 = \text{_____} [\text{ }]$ $U_2 = \text{_____} [\text{ }]$ $U_3 = \text{_____} [\text{ }]$	$P_1 = R_1 \cdot I^2$	$P_2 = R_2 \cdot I^2$	$P_3 = R_3 \cdot I^2$	$P = R \cdot I^2$
	$P_1 = \frac{U_1^2}{R_1}$	$P_2 = \frac{U_2^2}{R_2}$	$P_3 = \frac{U_3^2}{R_3}$	$P = \frac{U^2}{R}$
7. Анализирајте ги вредностите кои ги добивте со пресметката. Коментирајте ги вашите забелешки и заклучоци.				
				$P = P_1 + P_2 + P_3$

8. Пресметајте колку електрична енергија ќе потроши ова коло ако е приклучено на напон од 12 V:
- за време од 30 секунди
 - за време од 10 минути
 - за време од 2 часа

$t = 30s$	$t = 10min$	$t = 2h$

Вежба број 6

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОВЕРКА НА КИРХОФОВИТЕ ЗАКОНИ

Цел на вежбата е практична проверка на важењето на Првиот и Вториот Кирхофов закон

Потребни предзнаења. Пред да преминете на реализација на оваа вежба, **потсетете се** во врска со претходно изученото: Џулов закон, електрична енергија, електрична работа, мерна единица за енергија и работа.

Практичната вежба опфаќа:

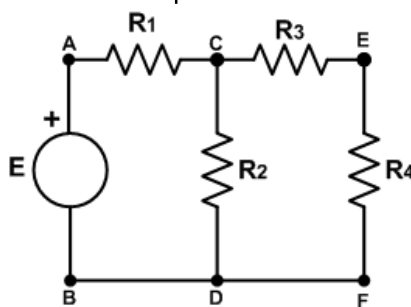
- I. Мерење отпорност на отпорници и составување струјно коло според дадена електрична шема
- II. Експериментална проверка на Првиот Кирхофов закон
- III. Експериментална проверка на Вториот Кирхофов закон
- IV. Пополнување елаборат
- V. Анализа на резултатите со извлекување заклучоци

Потребни материјали и опрема за реализација на вежбата:

1. Извор на еднонасочен напон со регулација (0-30)[V]
2. Четири отпорници со отпорности R_1, R_2, R_3 и R_4
3. Универзална експериментална плочка
4. Мултиметар

Се препорачува сите пресметки да се направат како **домашна работа** пред часот предвиден за практична вежба.

Задача: Со примена на Омовиот закон, Првиот и Вториот Кирхофов закон, пресметајте ги сите струи и напони во колото прикажано на слика 6.1



Слика 6.1

$$R_1 = \text{____}, R_2 = \text{____}, R_3 = \text{____} \text{ и } R_4 = \text{____}, E = \text{____} [\text{V}]$$

Вежба број 6 ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОВЕРКА НА КИРХОФОВИТЕ ЗАКОНИ		
Модуларна единица: Постојани струи	Време предвидено за реализација на вежбата: 2 часа	
Ученик:	Клас	Прегледал професор

Тек на вежбата

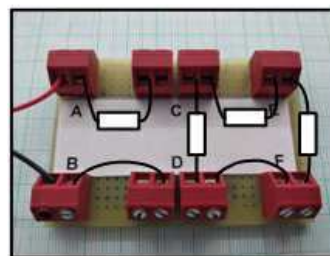
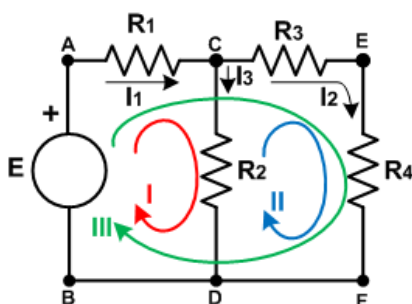
I. Мерење отпорност на отпорници и составување струјно коло според дадена електрична шема

1. Измерете ја отпорноста на дадените отпорници.

	R_1	R_2	R_3	R_4
Измерена вредност				
Мерен опсег				

2. Составете струјно коло според електричната шема прикажана на слика 6.1.

3. Нагодете го изворот на напон на вредност $E = \text{_____ [V]}$



Слика 6.2

II. Експериментална проверка на Првиот Кирхофов закон

1. Нагодете го мултиметарот да работи како амперметар (видете објаснување во Прилог 4) и измерете ги струите во сите гранки од електричното коло.

	I_1	I_2	I_3
Измерена вредност			
Мерно подрачје			

2. Проверете дали е исполнет Првиот Кирхофов закон за јазол C, заменувајќи ги во формулата измерените вредности на струите.

--

3. Дали експериментално добиените резултати се во согласност со теоретската пресметка? Како ги објаснувате разликите?

--

III. Експериментална проверка на Вториот Кирхофов закон

1. Нагодете го мултиметарот да работи како волтметар (видете објаснување во Прилог 4). Измерете ги сите напони.

	U_b	U_1	U_2	U_3	U_4
Измерена вредност					
Мерно подрачје					

2. Составете равенки според Вториот Кирхофов закон, за секоја од трите контури кои се означени на електричната шема. Експериментално, користејќи ги измерените вредности за напоните, проверете дали е исполнет Вториот Кирхофов закон за секоја од контурите.

Контура I	Контура II	Контура III

4. Дали експериментално добиените резултати се во согласност со теоретската пресметка? Како ги објаснувате разликите?

Вежба број 7

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОВЕРКА НА ТЕВЕНЕНОВАТА ТЕОРЕМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОВЕРКА НА МЕТОДОТ НА СУПЕРПОЗИЦИЈА

Целта на оваа вежба е да се изврши експериментална проверка и потврдување на Тевененовата теорема и на методот на суперпозиција

Потребни предзнаења. Пред да преминете на реализација на оваа вежба, **потсетете се** во врска со претходно изученото: сериска, паралелна и комбинирана врска на отпорници, сериски и паралелно поврзани напонски генератори, напон помеѓу две точки, Тевененова теорема и Метод на суперпозиција.

Опис на вежбата: Вежбата се состои од два дела:

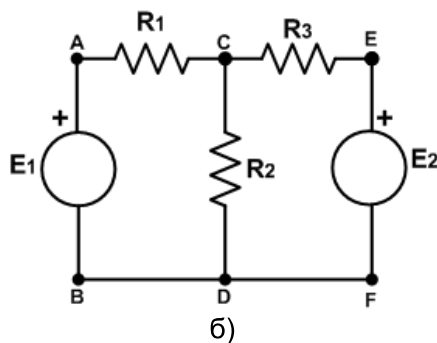
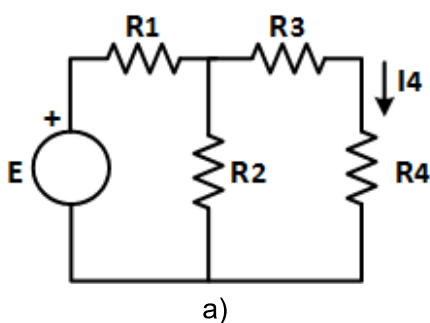
- I. Мерење отпорност на отпорници и составување струјни кола според дадени електрични шеми
- II. Експериментална проверка на Тевененовата теорема
- III. Експериментална проверка на Методот на суперпозиција
- IV. Пополнување техничка документација (елаборат за вежбата)
- V. Анализа на резултатите со извлекување заклучоци

Потребни материјали и опрема за реализација на вежбата:

1. Универзална плочка и кабли за поврзување
2. Четири отпорници со отпорности $R_1 = 1K\Omega$; $R_2 = 3,9K\Omega$; $R_3 = 2,4K\Omega$; $R_4 = 3,3K\Omega$ (за првиот дел од вежбата – проверка на Тевененовата теорема)
3. Три отпорници со отпорност $R_1 = 1K\Omega$; $R_2 = 4,7K\Omega$; $R_3 = 470\Omega$; (за вториот дел од вежбата – проверка на методот на суперпозиција)
4. Два извора на еднонасочен напон со регулација (0-30V)
5. Мултиметар

Домашна работа (се препорачува задачите за домашната работа да се зададат и да се решат пред часот предвиден за практична вежба).

I задача: За струјното коло прикажано на слика 1а), со примена на Тевененовата теорема, да се одреди струјата I_4 која тече низ отпорникот R_4 . $R_1 = 1K\Omega$ $R_2 = 3,9K\Omega$ $R_3 = 2,4K\Omega$ $E = 20V$.

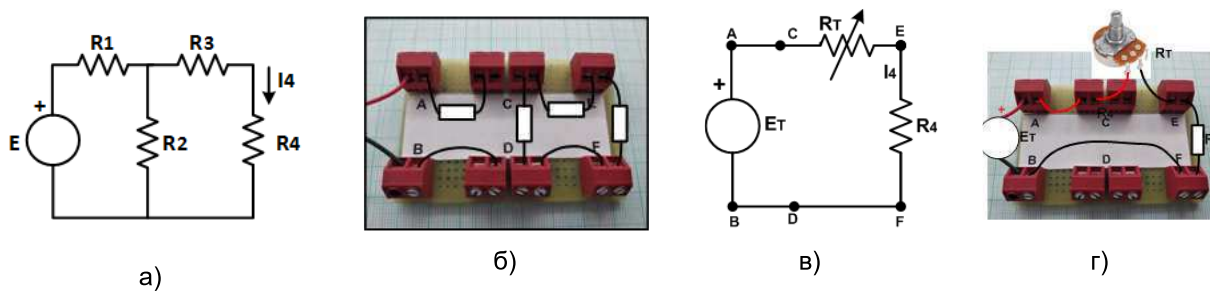


Слика 7.1

II задача: За струјното коло прикажано на слика 1б), со примена на методот на суперпозиција, да се одреди струјата I_2 која тече низ отпорникот R_2 .

$$R_1 = 1K\Omega, R_2 = 4,7K\Omega, R_3 = 470\Omega, E_1 = 10V, E_2 = 7V$$

Вежба број 7 ТЕВЕНЕНОВА ТЕОРЕМА И МЕТОД НА СУПЕРПОЗИЦИЈА		
Модуларна единица: Постојани струи	Време предвидено за реализација на вежбата: 2 часа	
Ученик:	Клас	Прегледал професор

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОВЕРКА НА ТЕВЕНЕНОВАТА ТЕОРЕМА

Слика 7.2

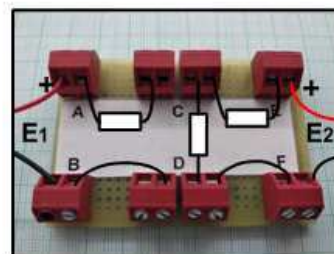
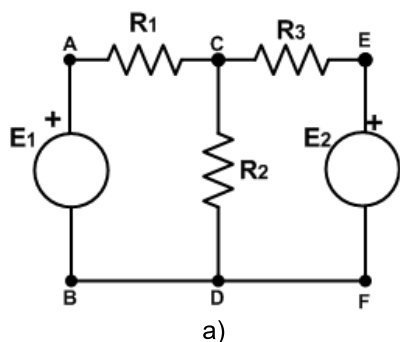
- Според електричната шема (слика 7.2 а)) формирајте електрично струјно коло (слика 7.2 б)). Напонот на изворот нагодете го на вредност $U = 20V$.
- Исклучете го отпорникот R_4 од струјното коло. **Внимавајте!!!** Отстранувањето на отпорникот не смеете да го правите додека колото е под напон. (Сега, останатиот дел од колото помеѓу точките Е и F се однесува како еквивалентен Тевененов генератор – напонски генератор со електромоторна сила E_T и внатрешна отпорност R_T).
- Измерете го напонот на еквивалентниот Тевененов генератор $E_T = U_{EF} =$ _____
- Исклучете го изворот на напон од колото и поврзете ги точките А и В во куса врска.
- Измерете ја Тевененовата отпорност помеѓу точките Е и F.
 $R_T =$ _____
- Формирајте ново струјно коло според слика 7.2 в)). Отпорникот R_4 вратете го на неговото место помеѓу точките Е и F, а другиот дел од струјното коло заменете го со потенциометар нагоден на отпорност R_T и извор на еднонасочен напон нагоден на E_T (слика 7.2 г)).
- Измерете ја струјата I_4 со амперметар.

$$I_4 = \text{_____}$$

- Споредете ги вредностите што ги добивте за јачината на струјата I_4 со аналитичка пресметка (домашната задача) и вредноста добиена со мерењето. Дали вредностите се разликуваат? Коментирајте ги добиените резултати.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОВЕРКА НА МЕТОДОТ НА СУПЕРПОЗИЦИЈА

- Според електричната шема (слика 7.3 а)) формирајте електрично струјно коло (слика 7.3 б)).



Слика 7.3

- Нагодете ги напоните на двата извора $E_1 = 7V$ и $E_2 = 0V$
- Измерете го напонот U_2 на краевите на отпорникот R_2
- Измерете ја струјата I_2
- Сега нагодете $E_1 = 0V$ и $E_2 = 10V$
- Измерете го напонот U_2''
- Измерете ја струјата I_2''

U_2	U_2''		I_2	I_2''	
$E_1 = 7V$	$E_1 = 0V$	$U = U_2 + U_2''$	$E_1 = 7V$	$E_1 = 0V$	$I = I_2 + I_2''$
$E_2 = 0V$	$E_2 = 10V$		$E_2 = 0V$	$E_2 = 10V$	

- Споредете ги теоретските вредности, добиени со пресметка во задача 2 од домашната работа, со практично измерените вредности.

	U_2	U_2''		I_2	I_2''	
	$E_1 = 7V$	$E_1 = 0V$	$U = U_2 + U_2''$	$E_1 = 7V$	$E_1 = 0V$	$I = I_2 + I_2''$
	$E_2 = 0V$	$E_2 = 10V$		$E_2 = 0V$	$E_2 = 10V$	
Измерени вредности						
Теоретски вредности						

- Направете анализа и согледување. Дали има разлика меѓу измерените и теоретските вредности? Дали експериментално го потврдите методот на суперпозиција? Коментирајте ја вашата анализа.

Вежба број 8

**МЕРЕЊЕ НА ИНДУКТИВНОСТ
ИЗРАБОТКА НА ЕЛЕКТРОМАГНЕТ**

Целта на оваа вежба е преку изработка на калем и мерење на неговата индуктивност, учениците поблиску да се запознаат со калемот како елемент и да увидат од што зависи индуктивноста на калемот. Во вториот дел од вежбата, учениците треба да направат електромагнет и да ги согледаат електромагнетните својства на овој елемент.

Потребни предзнаења. Пред да преминете на реализација на оваа вежба, **потсетете се** во врска со претходно изучените поими: калем (намотка, соленоид), број на навивки, индуктивност, мерна единица за индуктивност (кои се среќаваат во првиот дел од вежбата) и поимите електромагнетна индукција, индуцирана електромоторна сила (за вториот дел од вежбата).

Опис на вежбата: Вежбата се состои од повеќе делови:

- I. Мерење индуктивност на калеми
- II. Изработка на електромагнет
- III. Експериментирање со електромагнет
- IV. Изработка на техничка документација (елаборат)

Потребен материјал, инструменти и алат:

За првиот дел од вежбата (мерење индуктивност на калем)

1. Пет калеми со различни индуктивности
2. Мултиметар кој има мерно подрачје за мерење индуктивност или друг инструмент кој е наменет за мерење индуктивност (L-метар)

За вториот дел од вежбата (изработка и експериментирање со електромагнет)

1. Парче изолирана бакарна жица (60 cm)
2. Завртка (шраф) со должина 6 – 8 cm
3. 2 батерии 4,5 V; 9 V
4. Неколку спојувалки или други ситни железни предмети

Домашна задача (треба да се реализира пред часот предвиден за практична вежба):

1. Истражувајте на интернет, на темата изработка на електромагнет

Вежба број 8 МЕРЕЊЕ НА ИНДУКТИВНОСТ ИЗРАБОТКА НА ЕЛЕКТРОМАГНЕТ		
Модуларна единица: Магнетни дејства	Време предвидено за реализација на вежбата: 2 часа	
Ученик:	Клас	Прегледал професор

I. Мерење на индуктивност

1. Измерете ја индуктивноста на секој од дадените калеми поединечно. Измерените вредности запишете ги во табелата (објаснување во врска со начинот на мерење на индуктивноста ќе најдете во прилог 5)

Калем	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5
Измерена индуктивност					
Мерен опсег					

II. Изработка на едноставен електромагнет

- Околу железен шраф (завртка), цврсто намотајте една до друга 20 навивки од бакарна жица изолирана со лак.
- Отстранете го лакот од краевите на жицата во должина од 1 сантиметар.
- Краевите на жицата поврзете ги со двата пола на батеријата. На тој начин сте изработиле едноставен електромагнет.

II. Експериментирајте со изработениот електромагнет.

- Доближете го врвот на завртката до ситни железни предмети. Што се случува? Дали изработениот електромагнет покажува магнетни својства?

- Исклучете ја батеријата. Што се случува? Дали електромагнетот ги задржува магнетните својства по исклучувањето на изворот на напон?
- Сега поврзете ја намотката повторно на батерија, но сега на друга батерија, со друга вредност на напонот. Дали електромагнетот привлекува железни предмети подеднакво како првиот пат? Дајте ваше толкување на појавите. Какви се вашите заклучоци?

Вежба број 9

**МЕРЕЊЕ НАИЗМЕНИЧНИ СТРУИ И НАПОНИ
ВО КОЛО СО ОМСКИ ОТПОРНИЦИ**

Цел на вежбата е преку практични мерења во кола со наизменичен напон и наизменична струја да се согледаат разликите што постојат меѓу еднонасочни електрични кола и наизменични електрични кола (извор на напон, нагдување на мултиметарот и други разлики кои ќе ги согледаат при мерење и анализа на резултатите од мерењата).

Потребни предзнаења. Пред да преминете на реализација на оваа вежба, **потсетете се** во врска со претходно изученото: карактеристики на наизменичните величини, омски отпорник во коло со наизменична струја.

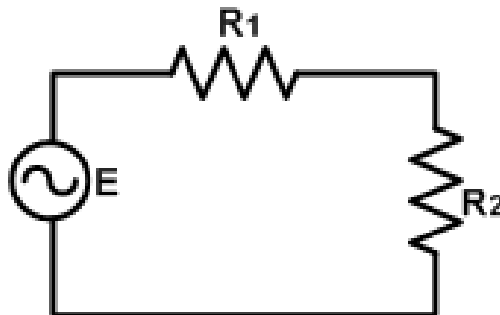
Опис на вежбата: Вежбата се состои од четири дела:

- I. Мерење отпорност на отпорници и поврзување на електрично коло според дадена електрична шема
- II. Мерење напони и струја во колото и пополнување елаборат
- III. Анализа на резултатите, извлекување заклучоци

Потребна опрема за реализација на вежбата:

1. Два отпорника со отпорности $R_1 = \text{---} \Omega$; $R_2 = \text{---} \Omega$
2. Регулациски мрежен трансформатор кој служи како извор на простопериодичен напон со фреквенција 50 Hz
3. Универзална експериментална плочка
4. Мултиметар

Задача: Да се пресметаат напоните и струјата, како и моќностите на сите елементи на електричното коло од слика 9.1

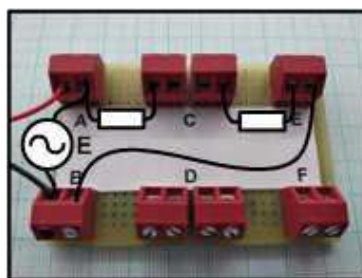
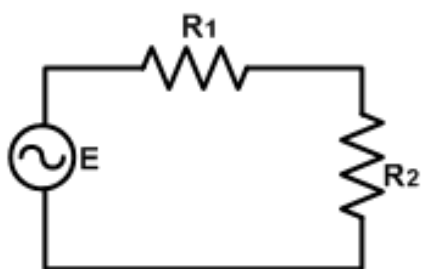


Слика 9.1

Вежба број 9
**МЕРЕЊЕ НАИЗМЕНИЧНИ СТРУИ И НАПОНИ
 ВО КОЛО СО ОМСКИ ОТПОРНИЦИ**

Модуларна единица: Наизменични струи	Време предвидено за реализација на вежбата: 2 часа	
Ученик:	Клас	Прегледал професор

Внимавајте при нагодувањето на мултиметарот. Во оваа вежба, со мултиметарот ќе ги мерите ефективните вредности на **наизменичните напони** и **ефективната вредност на наизменичната струја** во колото.



Слика 9.2

- Измерете ја отпорноста на отпорниците R_1 и R_2 поединечно, потоа поврзете ги сериски и измерете ја еквивалентната отпорност на сериската врска.

Отпорници	R_1	R_2	R
Измерена вредност			
Мерен опсег			

- Поврзете го волтметарот на излез од трансформаторот и нагодете го напонот на вредност $E = 2V$.
- Реализирајте струјно коло според ел. шема прикажана на слика 9.2
- Измерете ги напоните U_1 и U_2 .
- Измерете ја јачината на струјата I .

	E	U_1	U_2	I
Измерена вредност				
Мерен опсег				

- Споредете ги измерените и теоретските вредности

	E	U_1	U_2	I
Измерена вредност				
Теоретска вредност				

6. Проверете ја исполнетоста на Омовиот закон и на Вториот Кирхофов закон за даденото коло. Пресметките треба да ги вршите со измерените вредности на струите и напоните.

Омов закон

Втор Кирхофов закон

7. Пресметајте колкава е моќноста што се дисипира на секој од отпорниците поединечно.

8. Дали има некакви разлики кога колото се напојува со простопериодичен наизменичен напон, во однос на случај кога се напојува со постојан еднонасочен напон? Наведете ги вашите забелешки.

Вежба број 10

**АНАЛИЗА НА СЕРИСКА ВРСКА НА ОТПОРНИК И КАЛЕМ И
СЕРИСКА ВРСКА НА ОТПОРНИК И КОНДЕНЗАТОР**

Цел на вежбата е преку компјутерска симулација во програмата NI Multisim, да се изврши анализа на сериско RL и сериско RC коло, да се согледа како влијае промената на индуктивноста на калемот кај сериско RL, односно капацитивноста на кондензаторот кај сериско RC коло на останатите голедини: на реактивните отпорности, на напоните и на струјата.

Потребни предзнаења. Пред да преминете на реализација на оваа вежба, **потсетете се** во врска со претходно изученото: активна отпорност, реактивна индуктивна отпорност, реактивна капацитивна отпорност, импеданса, сериска врска на отпорник и калем, сериска врска на отпорник и кондензатор.

Опис на вежбата: Вежбата се состои од два дела.

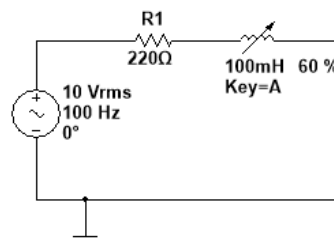
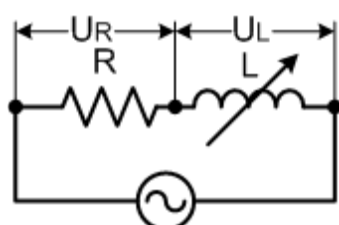
- I. Компјутерска симулација на коло кое се состои од сериска врска на отпорник и калем, приклучени на извор на наизменичен напон.
- II. Компјутерска симулација на коло кое се состои од сериска врска на отпорник и кондензатор, приклучени на извор на наизменичен напон.

Вежбата треба да се реализира во училиница со компјутери, на кои претходно треба да биде инсталирана програмата NI Multisim.

Задачи за домашна работа (задачите треба да се решат пред часовите предвидени за практична вежба):

1. Сериско RL коло е приклучено на извор на наизменичен напон со ефективна вредност $U = 10\text{ V}$ и фреквенција $f = 100\text{ Hz}$. Отпорникот е со отпорност $R = 220\ \Omega$, а калемот има индуктивност $L = 100\text{ mH}$. Пресметајте ја струјата I во колото и напоните U_R и U_L .
2. Сериско RC коло е приклучено на извор на наизменичен напон со ефективна вредност $U = 10\text{ V}$ и фреквенција $f = 100\text{ Hz}$. Отпорникот е со отпорност $R = 220\ \Omega$, а кондензаторот има капацитивност $C = 1\ \mu\text{F}$. Пресметајте ја струјата I во колото и напоните U_R и U_C .

Вежба број 10 АНАЛИЗА НА СЕРИСКА ВРСКА НА ОТПОРНИК И КАЛЕМ И СЕРИСКА ВРСКА НА ОТПОРНИК И КОНДЕНЗАТОР		
Модуларна единица: Наизменични струи	Време предвидено за реализација на вежбата: 2 часа	
Ученик:	Клас	Прегледал професор



Слика 10.1

1. Следејќи ги објаснувањата дадени во упатството за користење на програмата NI Multisim, формирајте сериско RL коло (слика 10.1). Колото се состои од редна врска на отпорник со отпорност $R = 220\Omega$ и калем со променлива индуктивност со максимална вредност $L = 100\text{ mH}$, поврзани на извор на наизменичен напон со $U = 10\text{ V}$, $f = 100\text{ Hz}$. Индуктивноста на калемот ќе ја менувате скоковито, со клик на виртуелниот лизгач покрај симболот за калем, почнувајќи од 20%, потоа 40%, 60%, 80% и 100% од максималната индуктивност.

2. При секоја промена на индуктивноста, мерете ги напоните U_R и U_L и јачината на струјата I . Резултатите од мерењата внесете ги во табелата.

	20%L	40%L	60%L	80%L	100%L
U_R					
U_L					
I					

3. Анализирајте ги резултатите од мерењата во табелата. Како напонот U_L зависи од индуктивноста на калемот? Со зголемувањето на индуктивноста, дали напонот U_L расте или се намалува? Како ја објаснувате оваа зависност?

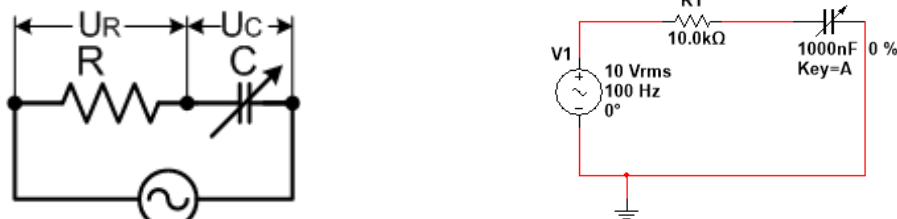
4. Дали е исполнето правилото за триаголникот на напони кај сериското RL коло? Направете проверка со вредностите на напоните од последната колона во табелата.

$U^2 = U_R^2 + U_L^2$	
-----------------------	--

5. Направете споредба на теоретски пресметаните вредности од домашната задача 1 и вредностите добиени при симулацијата за позиција на лизгачот на променливиот калем 100% (вредностите од последната колона во табелата).

	Теоретски вредности	Вредности добиени со симулација	Споредба (коментар)
U_R			
U_L			
I			

6. Следејќи ги објаснувањата дадени во упатството за користење на програмата NI Multisim, формирајте сериско RC коло (слика10.2). Колото се состои од редна врска на отпорник со отпорност $R = 220\Omega$ и кондензатор со променлива капацитивност, со максимална вредност $C=1\mu F$, поврзани на извор на наизменичен напон со $U = 10V, f = 100Hz$. Капацитивноста на кондензаторот ќе ја менувате скоковито, со клик на виртуелниот лизгач покрај симболот за кондензатор, почнувајќи од 20%, потоа 40%, 60%, 80% и 100% од максималната капацитивност.



Слика 10.2

7. При секоја промена на капацитивноста, мерете ги напоните U_R и U_C и јачината на струјата I . Резултатите од мерењата внесете ги во табелата.

	20%C	40%C	60%C	80%C	100%C
U_R					
U_L					
I					

8. Анализирајте ги резултатите од мерењата во табелата. Како напонот U_C зависи од капацитивноста на кондензаторот? Со зголемувањето на капацитивноста, дали напонот U_C расте или се намалува? Како ја објаснувате оваа зависност?

9. Дали е исполнето правилото за триаголникот на напони кај сериското RC коло? Направете проверка со вредностите на напоните од последната колона во табелата.

$U^2 = U_R^2 + U_C^2$	
-----------------------	--

10. Направете споредба на теоретски пресметаните вредности од домашната задача 2 и вредностите добиени при симулацијата за позиција на лизгачот на променливиот калем 100%L (вредностите од последната колона во табелата).

	Теоретски вредности	Вредности добиени со симулација	Споредба (коментар)
U_R			
U_L			
I			

Вежба број 11

**АНАЛИЗА НА ПАРАЛЕЛНА ВРСКА НА ОТПОРНИК И КАЛЕМ И
ПАРАЛЕЛНА ВРСКА НА ОТПОРНИК И КОНДЕНЗАТОР**

Цел на вежбата е преку компјутерска симулација во програмата NI Multisim, да се изврши анализа на паралелно RL и паралелно RC коло, да се согледа како влијае промената на индуктивноста на калемот кај паралелно RL, односно капацитивноста на кондензаторот кај паралелно RC коло на останатите големини: на реактивните отпорности, на напоните и на струите.

Потребни предзнаења. *Пред да преминете на реализација на оваа вежба, потсетете се во врска со претходно изученото: активна отпорност, реактивна индуктивна отпорност, реактивна капацитивна отпорност, адмитанса, паралелна врска на отпорник и калем, паралелна врска на отпорник и кондензатор.*

Опис на вежбата: Вежбата се состои од два дела.

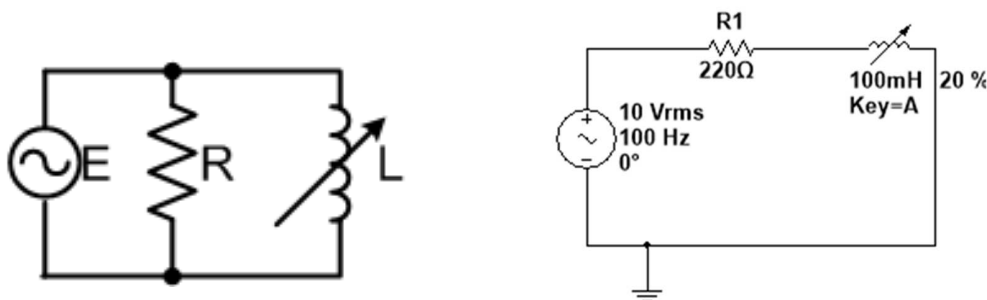
- I. Компјутерска симулација на коло кое се состои од паралелна врска на отпорник и калем, приклучени на извор на наизменичен напон.
- II. Компјутерска симулација на коло кое се состои од паралелна врска на отпорник и кондензатор, приклучени на извор на наизменичен напон.

Вежбата треба да се реализира во училница со компјутери, на кои претходно треба да биде инсталирана програмата NI Multisim.

Задачи за домашна работа (задачите треба да се решат пред часовите предвидени за практична вежба):

1. Паралелно RL коло е приклучено на извор на наизменичен напон со ефективна вредност $U = 10V$ и фреквенција $f = 100Hz$. Отпорникот е со отпорност $R = 220\Omega$, а калемот има индуктивност $L = 100mH$. Пресметајте ги струите I , I_1 и I_2 во трите гранки од колото.
2. Паралелно RC коло е приклучено на извор на наизменичен напон со ефективна вредност $U = 10V$ и фреквенција $f = 100Hz$. Отпорникот е со отпорност $R = 220\Omega$, а кондензаторот има капацитивност $C = 1\mu F$. Пресметајте ги струите I , I_1 и I_2 во трите гранки од колото.

Вежба број 11 АНАЛИЗА НА ПАРАЛЕЛНА ВРСКА НА ОТПОРНИК И КАЛЕМ И ПАРАЛЕЛНА ВРСКА НА ОТПОРНИК И КОНДЕНЗАТОР		
Модуларна единица: Наизменични струи	Време предвидено за реализација на вежбата: 2 часа	
Ученик:	Клас	Прегледал професор



Слика 11.1

1. Следејќи ги објаснувањата дадени во упатството за користење на програмата NI Multisim, формирајте паралелно RL коло (слика 11.1). Колото се состои од паралелна врска на отпорник со $R = 220\Omega$ и калем со променлива индуктивност со $L_{\max} = 100 \text{ mH}$, поврзани на извор на наизменичен напон со $U = 10 \text{ V}$, $f = 100 \text{ Hz}$. Индуктивноста на калемот ќе ја менувате скоковито, со клик на виртуелниот лизгач покрај симболот за калем, почнувајќи од 20%, потоа 40%, 60%, 80% и 100% од максималната индуктивност.

2. При секоја промена на индуктивноста, мерете ги јачините на струите I_R и I_L . Резултатите од мерењата внесете ги во табелата.

	20%L	40%L	60%L	80%L	100%L
I_R					
I_L					
I					

3. Анализирајте ги резултатите од мерењата во табелата. Како струите зависат од промената на индуктивноста на калемот? Со зголемувањето на индуктивноста, дали струјата I_L расте или се намалува? Како ја објаснувате оваа зависност?

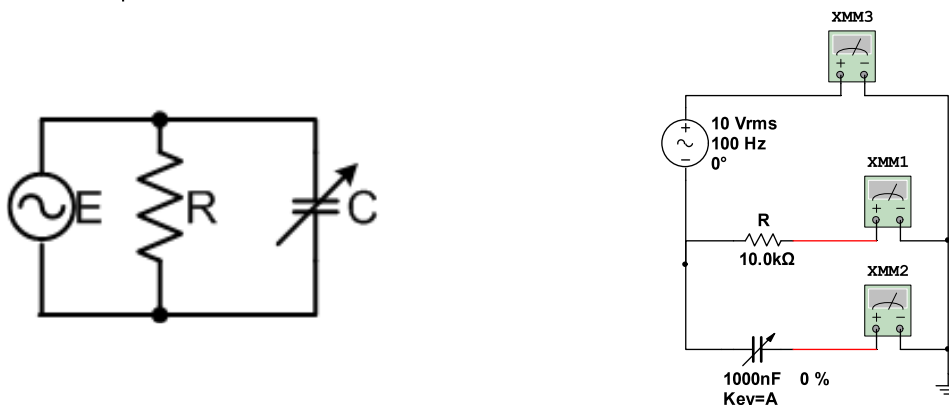
4. Дали е исполнето правилото за триаголникот на струите кај паралелно RL коло? Направете проверка со вредностите на струите од последната колона во табелата.

$I^2 = I_R^2 + I_L^2$	
-----------------------	--

5. Направете споредба на теоретски пресметаните вредности од домашната задача 2 и вредностите добиени при симулацијата за позиција на лизгачот на променливиот калем 100% (вредностите од последната колона во табелата).

	Теоретски вредности	Вредности добиени со симулација	Споредба (коментар)
U_R			
U_L			
I			

1. Следејќи ги објаснувањата дадени во упатството за користење на програмата NI Multisim, формирајте паралелно RC коло (слика 11.2). Колото се состои од паралелна врска на отпорник со отпорност $R = 220\Omega$ и кондензатор со променлива капацитивност со максимална вредност $C = 1\mu F$, поврзани на извор на наизменичен напон со $U = 10V$, $f = 100Hz$. Капацитивноста на кондензаторот ќе ја менувате скоковито, со клик на виртуелниот лизгач покрај симболот за кондензатор, почнувајќи од 20%, потоа 40%, 60%, 80% и 100% од максималната капацитивност.



Слика 11.2

2. При секоја промена на капацитивноста, мерете ги јачините на струите I_R и I_C и I . Резултатите од мерењата внесете ги во табелата.

	20%C	40%C	60%C	80%C	100%C
U_R					
U_C					
I					

3. Анализирајте ги резултатите од мерењата во табелата. Како јачината на струјата I_C зависи од капацитивноста на кондензаторот? Со зголемувањето на капацитивноста, дали струјата I_C расте или се намалува? Како ја објаснувате оваа зависност?

4. Дали е исполнето правилото за триаголникот на струите кај паралелно RC коло? Направете проверка со вредностите на струите од последната колона во табелата.

$I^2 = I_R^2 + I_C^2$	
-----------------------	--

5. Направете споредба на теоретски пресметаните вредности од домашната задача 2 и вредностите добиени при симулацијата за позиција на лизгачот на променливиот кадем 100%L.

	Теоретски вредности	Вредности добиени со симулација	Споредба (коментар)
I_R			
I_L			
I			

Вежба број 12

**АНАЛИЗА НА СЕРИСКО RLC КОЛО
АНАЛИЗА НА ПАРАЛЕЛНО RLC КОЛО**

Цел на вежбата е преку компјутерска симулација во програмата NI Multisim, да се изврши анализа на сериско и паралелно RLC коло, да се измерат струите и напоните и да се нацртаат триаголникот на напоните за сериското RLC коло и триаголникот на струите за паралелното RLC коло.

Потребни предзнаења. Пред да преминете на реализација на оваа вежба, **потсетете се** во врска со претходно изученото: активна отпорност, реактивна индуктивна отпорност, реактивна капацитивна отпорност, импеданса, адмитанса, сериско RLC коло и паралелно RLC коло.

Опис на вежбата: Вежбата се состои од два дела:

- I. Компјутерска симулација на коло кое се состои од сериска врска на отпорник, калем и кондензатор, приклучени на извор на наизменичен напон, виртуелно мерење на струјата и напоните.
- II. Компјутерска симулација на коло кое се состои од паралелна врска на отпорник, калем и кондензатор, приклучени на извор на наизменичен напон, виртуелно мерење на напоните и струите.

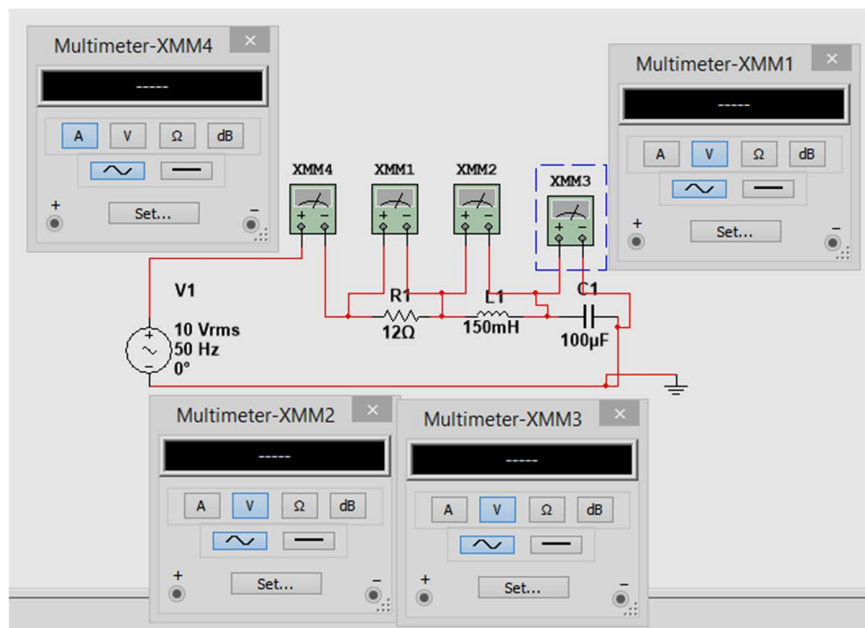
Вежбата треба да се реализира во училиница со компјутери, на кои претходно треба да биде инсталирана програмата NI Multisim.

Задачи за домашна работа (задачите треба да се решат пред часовите предвидени за практична вежба):

1. Сериско RLC коло е приклучено на извор на наизменичен напон со ефективна вредност $U = 10V$ и фреквенција $f = 50Hz$. Отпорникот е со отпорност $R = 12\Omega$, а калемот има индуктивност $L = 150mH$ и кондензаторот има капацитивност $C = 100\mu F$. Пресметајте ги реактивните отпорности на калемот и на кондензаторот, вкупната импеданса во колото, струјата I и напоните U_R , U_L и U_C .
2. Паралелно RLC коло е приклучено на извор на наизменичен напон со ефективна вредност $U = 10V$ и фреквенција $f = 50Hz$. Отпорникот е со отпорност $R = 220\Omega$, а кондензаторот има капацитивност $C = 1\mu F$. Пресметајте ги струите I , I_R , I_L и I_C во трите гранки од колото.

Вежба број 12 АНАЛИЗА НА СЕРИСКО RLC КОЛО АНАЛИЗА НА ПАРАЛЕЛНО RLC КОЛО		
Модуларна единица: Наизменични струи	Време предвидено за реализација на вежбата: 2 часа	
Ученик:	Клас	Прегледал професор

1. Следејќи ги објаснувањата дадени во упатството за користење на програмата NI Multisim, формирајте сериско RLC коло (слика 12.1). Колото се состои од паралелна врска на отпорник со отпорност $R = 12\Omega$, калем со индуктивност $L = 150\text{ mH}$ и кондензатор со капацитивност $C = 100\mu\text{F}$, поврзани на извор на наизменичен напон со $U = 10\text{V}$, $f = 50\text{Hz}$.



Слика 12.1

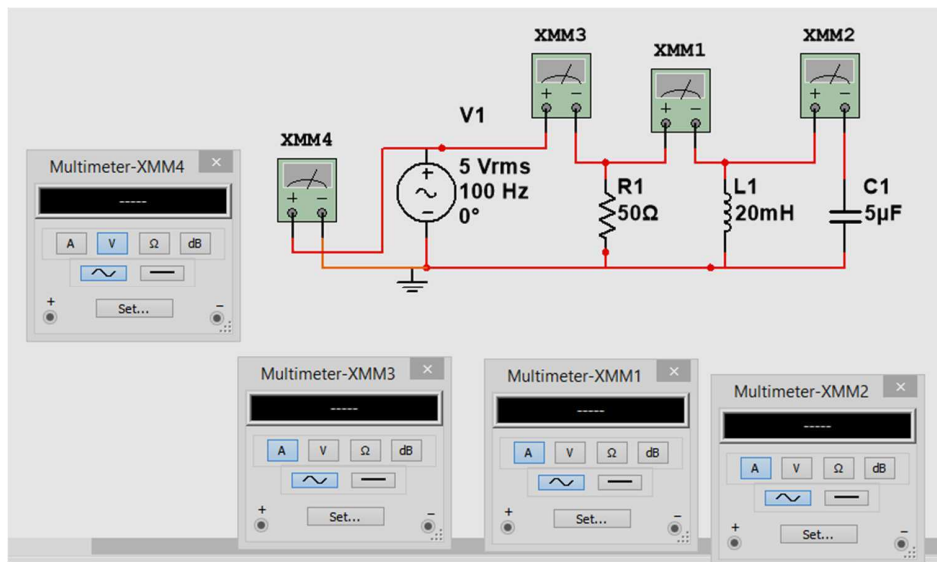
2. Во колото поврзете виртуелни мултиметри за мерење на струјата I и напоните U_R , U_L и U_C .
3. Вклучете симулација и измерете ги вредностите на струјата I и напоните U_R , U_L и U_C .
4. Измерените вредности запишете ги во табелата. На соодветното место во табелата запишете ги и теоретските вредности добиени со пресметка.

	U	U_R	U_L	U_C	I
Измерени вредности					
Теоретски вредности					

5. Дали има разлика меѓу теоретските и измерените вредности? Кое е вашето мислење, дали се добиваат поточни вредности со практично мерење со мерни инструменти или со програмска симулација?

6. Користејќи ги вредностите за напоните измерени со виртуелните мерни инструменти, нацртајте го триаголникот на напони за ова електрично коло.

1. Следејќи ги објаснувањата дадени во упатството за користење на програмата NI Multisim, формирајте паралелно RLC коло (слика 12.1). Колото се состои од паралелна врска на отпорник со отпорност $R = 50\Omega$, калем со индуктивност $L = 20\text{ mH}$ и кондензатор со капацитивност $C = 5\mu\text{F}$, поврзани на извор на наизменичен напон со $U = 5\text{V}$, $f = 100\text{Hz}$.



Слика 12.2

2. Во колото поврзете виртуелни мултиметри за мерење на струјата I и напоните U_R , U_L и U_C .
3. Вклучете симулација и измерете ги вредностите на струјата I и напоните U_R , U_L и U_C .
4. Измерените вредности запишете ги во табелата. На соодветното место во табелата запишете ги и теоретските вредности добиени со пресметка.

	U	U_R	U_L	U_C	I
Измерени вредности					
Теоретски вредности					

5. Дали има разлика меѓу теоретските и измерените вредности? Кое е вашето мислење, дали поточни вредности се добиваат со практично мерење со мерни инструменти или со програмска симулација?

6. Користејќи ги вредностите за струите измерени со виртуелните мерни инструменти, нацртајте го триаголникот на струите за ова електрично коло.

ПРИЛОЗИ

ПРИЛОГ 1: Кондензатори

Кондензаторите се пасивни електронски компоненти кои имаат способност да акумулираат количество електричество. Основни параметри на кондензаторите се: капацитивност, номинален напон и толеранција. Во зависност од видот на кондензаторот, вредноста на капацитивноста се движи во границите од неколку pF до неколку десетици илјади μF . Номинален напон е максималниот напон кој смееме да го одржуваме постојано на плочите на кондензаторот, а притоа да не дојде до пробив на диелектрикот. Овој напон може да биде од неколку волти до неколку стотици волти.

Видови кондензатори

Постојат многу различни видови кондензатори.

Електролитските кондензатори се поларизирани кондензатори. Кај телото на овие кондензатори секогаш е видливо означен поларитетот на електродите и треба да се внимава кога се поврзуваат на напон. Електролитските кондензатори имаат релативно голема капацитивност (1 μF до 10000 μF). Кај другите видови кондензатори, електродите не се поларизирани. Тие се со помала капацитивност (од 1 pF до 10 μF).



Читање на ознаките на кондензатори

Вредноста на основните параметри на кондензаторите е означена алфанумерички, на телото на кондензаторот.

Електролитските и пластичните блок-кондензатори на телото имаат испишана вредност којашто се однесува на капацитивноста. Ако покрај оваа вредност нема мерна единица, тогаш капацитивноста ќе биде изразена во пикофаради доколку вредноста е број поголем од 1. Ако вредноста е децимален број помал од 1 (децимален број меѓу нула и еден), тогаш капацитивноста е изразена во μF .

Кај керамичките кондензатори, обележувањето најчесто е кодирано. Оznakата на телото на кондензаторот е трицифрен број, каде што третата цифра ни кажува колку нули да додадеме на првите две цифри. Вака прочитаната вредност е изразена во pF. Ако ознаката на керамички кондензатор е едноцифрен или двоцифрен број, тогаш ја читаме директно и е изразена повторно во pF.

Мерење на капацитивност

Капацитивноста се мери со помош на мултиметар поставен на соодветно мерно подрачје за мерење капацитивност. На сликата е прикажан дигитален мултиметар кој има можност да мери капацитивност. Во продолжение на текстот ќе биде објаснето мерењето на капацитивноста со помош на овој мултиметар. Принципот на мерењето капацитивност со мултиметар од некој друг тип е исто. Може да постојат минимални разлики во поглед на дизајнот на мултиметарот (што секако зависи од производителот), но тоа нема да смени ништо во постапката за мерење на капацитивноста.

Мерното подрачје за мерење на капацитивноста кај овој мултиметар е означено со ознаката FARAD (според мерната единица за мерење капацитивност). Преклопникот во рамките на ова мерно подрачје има 6 позиции: 2 nF, 20 nF, 200 nF, 2 μ F, 20 μ F и 200 μ F. Секоја позиција опфаќа точно одреден мерен опсег: првата позиција се користи за кондензатори чијашто капацитивност е помала од 2 nF, втората за кондензатори со капацитивност во опсегот (2÷20) nF, третата за (20÷200) nF; четвртата за (200 nF÷2 μ F); петтата за (2÷20) μ F и шестата позиција на преклопникот за мерење на капацитивност во опсегот (20÷200) μ F. При мерење на капацитивноста, преклопникот секогаш е поставен на мерното подрачје означено со FARAD, а изборот на мерен опсег зависи од капацитивноста на кондензаторот.

За поврзување на кондензаторот чија капацитивност сакаме да ја измериме, кај овој мултиметар постои конектор означен со C_x (кај некои мултиметри не постои ваков конектор, туку кондензаторот чија капацитивност сакаме да ја измериме се поврзува со мерните кабли поставени на соодветните приклучоци).

Постапка за мерење на капацитивноста:

1. Кондензаторите се елементи кои имаат способност да акумулираат електрични полнежи, односно количество електричество. Притоа се зголемува електричниот напон помеѓу спроводните плочи на кондензаторот. Ова количество електричество останува акумулирано на плочите од кондензаторот и по неговото исклучување од напон. Затоа, пред да преминете на мерење на некој кондензатор, потребно е „кондензаторот да се испразни“. Празнење на кондензаторот се врши едноставно, со директно меѓусебно поврзување на изводите на кондензаторот. Вообичаено, во електрониката тоа се прави со помош на шрафцигер со изолирана дршка. За кондензаторите кои се користат во енергетиката и кои се конструирани за работа при многу повисоки напони, празнењето се врши со поврзување на изводите на кондензаторот преку отпорник со поголема моќност.

2. Ако мерите кондензатор со непозната капацитивност, тогаш преклопникот поставете го на највисокиот мерен опсег, кој за овој инструмент е (20÷200) μ F. Ако на дисплејот од мултиметарот се покаже децимален број во овие граници (20÷200), тогаш капацитивноста на кондензаторот е со вредноста прикажана на дисплејот, а мерната единица е μ F. Ако на дисплејот од мултиметарот се покаже децимален број кој е помал од 20, тогаш изберете соодветен помал мерен опсег на којшто му припаѓа вредноста што е прикажана на дисплејот. Мерењето е најправилно и направената грешка при мерење ќе биде најмала во случај кога е избран првиот опсег кој е поголем од мерената вредност. Пример: Мерите кондензатор со капацитивност од 17 μ F. Овој кондензатор може да биде измерен и на мерен опсег (20÷200) μ F и на мерен опсег (2÷20) μ F. Меѓутоа, мерењето е најправилно и направената грешка при мерење ќе биде најмала во случај кога ќе го изберете мерниот опсег (2÷20) μ F, односно преклопникот ќе биде на позиција 20 μ F.

3. Ако мерите кондензатор за којшто однапред ја знаете вредноста на капацитивноста и едноставно само вршите проверка на неговата исправност, тогаш директно го избирате првиот поголем мерен опсег од очекуваната вредност. При споредување на измерената капацитивност со капацитивноста која е означена на телото на кондензаторот, секогаш земете го предвид дозволеното отстапување, односно толеранцијата.

4. Ако при мерење на капацитивноста, на левата страна на дисплејот се покаже I или OL, тоа значи дека капацитивноста на мерениот кондензатор е поголема од горната граница на мерниот опсег.

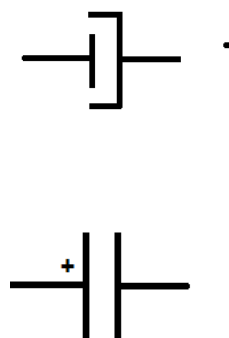
При мерење променлив кондензатор, треба да се измери неговата минимална и максимална капацитивност.

Електролитски кондензатор

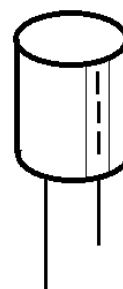
Кондензаторот кој ќе го користите при реализација на првата задача од вежба 1 е електролитски кондензатор. Карактеристично за електролитските кондензатори е тоа што имаат алуминиумски електрода (ленти во вид на тенки алуминиумски фолии), а како изолатор се користи алуминиум оксид кој се нанесува на алуминиумската фолија со електрохемиска реакција. Алуминиум оксидот проведува само во една насока, а во другата не проведува. Затоа велиме дека електролитските кондензатори се поларизирани. **При приклучување на електролитски кондензатор во струјно коло треба да се внимава која електрода е позитивна, а која е негативна.** На самото тело на кондензаторот најчесто е означена негативната електрода со знакот минус (-). Друг начин на кој можеме да се одреди која електрода е позитивна, а која негативна е според должината на нивните изводи. Изводот на едната електрода е подолг, а на другата е пократок. Пократкиот извод одговара на негативната електрода, а подолгиот на позитивната електрода.



Електролитски кондензатор
- изглед на елементот



Симбол за
електролитски
кондензатор



Распоред на изводи кај
електролитски кондензатор

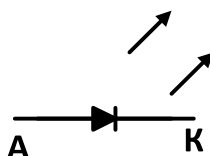
ПРИЛОГ 2: Лед диода

Лед диодата е електронски полупроводнички елемент кој зрачи светлина кога низ него протекува електрична струја. Лед диодата има два изводи: анода и катода.

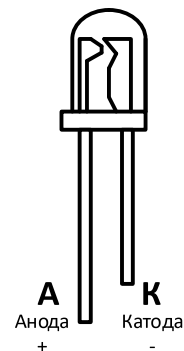
При поврзување на лед диода во струјно коло треба да се внимава на поларитетот.



Лед диоди - изглед на елементот



Симбол на лед диода



Распоред на изводи кај лед диода

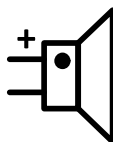
Зујалка

Зујалката е електронски елемент за кој е карактеристично дека произведува звук кога низ него протекува електрична струја.

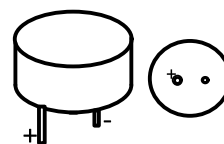
При поврзување на зујалка во струјно коло треба да се внимава на поларитетот.



Пиезо зујалка изглед на елементот



Симбол на пиезо зујалка



Изводи кај пиезо зујалка

ПРИЛОГ 3: Отпорници

Отпорниците се пасивни компоненти за коишто може да се каже дека се најупотребуваните компоненти во електричните и во електронските кола. Величината која ги карактеризира отпорниците е нивната отпорност, која се означува со R , а се мери во оми (Ω).

Основна намена на отпорниците е да ја ограничат, да ја регулираат јачината на електричната струја во делот од струјното коло каде што се поставени, а со тоа го регулираат и електричниот напон.

Отпорниците ги карактеризираат повеќе параметри, но најупотребувани параметри при изборот на отпорник се: номинална електрична отпорност и дозволено отстапување (толеранција) и максимална моќност на дисипација на отпорникот.

Отпорниците се произведуваат со точно дефинирани вредности на номиналната отпорност, подредени според Стандардните Ренардови редови во границите од неколку $m\Omega$ до $10 M\Omega$.

Дозволеното отстапување се изразува во проценти од номиналната вредност на отпорноста на отпорникот и може да биде 20%; 10%; 5%; 2%; 1%; 0,5%; 0,25%; 0,1%.

Вредностите на максималната моќност на дисипација се исто така стандардизирани: 0,125 W; 0,25 W; 0,5 W; 1 W; 2 W; 3 W; 4 W; 5 W; 7 W; 10 W; 15 W; 20 W; 25 W; 50 W; 100 W.

Видови на отпорници

Во основа, сите отпорници може да се поделат во три групи:

- Отпорници со постојана (фиксна) отпорност
- Отпорници со променлива отпорност – променливи отпорници (потенциометри)
- Нелинеарни отпорници (отпорници чија отпорност зависи од некој друг параметар: осветленост – фотоотпорници, напон – варистори, температура – термистори).



Отпорници со постојана (фиксна) отпорност, обележани со бои, наредени според максималната моќност на дисипацијата (од најголема до најмала)



Отпорници со променлива отпорност

Обележување на отпорниците

Обележувањето на отпорниците може да биде на два начина:

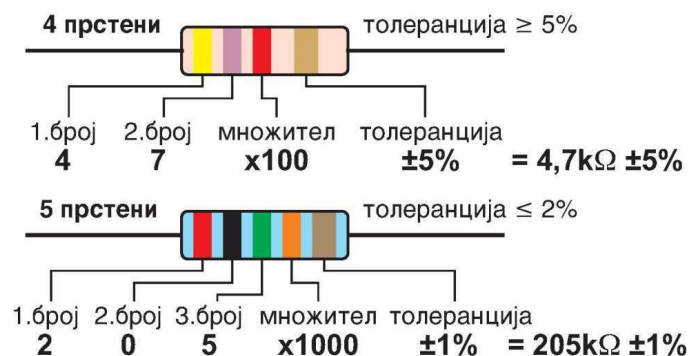
- Алфанумерички (со броеви и букви)
- Со бои

Отпорниците со поголема моќност на дисипацијата се и физички поголеми, па кај нив директно на телото на отпорникот се обележани основните параметри: номинална отпорност, толеранција и моќност. При означување на номиналната отпорност, буквата E и буквата R означуваат оми (Ω), буквата K килооми (K Ω), а буквата M означува мегаоми (M Ω). Ако буквата се наоѓа меѓу некои броеви, тогаш на тоа место треба да има децимална запирка, а номиналната отпорност ќе биде изразена во соодветната единица, во зависност од буквата.

Пример: 4K7=4,7K Ω ; 330E=330 Ω ; 5M6=5,6M Ω

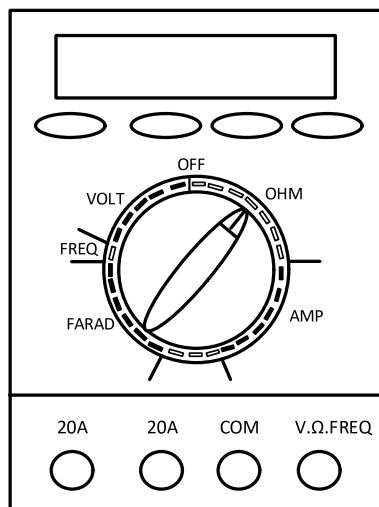
Обележувањето со бои се врши кај отпорници со помали димензии. Кај ваквиот начин на обележување, на телото на отпорникот се наредени неколку обоени прстени. Редоследот на прстените, односно редоследот на читање на боите започнува од прстенот кој е поблиску до крајот на телото на отпорникот.

боја	број	множител	толеранција
црна	0	x1	-
кафена	1	x10	$\pm 1\%$
црвена	2	x100	$\pm 2\%$
портокалова	3	x1000	-
жолта	4	x10 ⁴	-
зелена	5	x10 ⁵	$\pm 0,5\%$
сина	6	x10 ⁶	$\pm 0,25\%$
виолетова	7	x10 ⁷	$\pm 0,1\%$
сива	8	x10 ⁸	-
бела	9	x10 ⁹	-
златна	-	x0,1	$\pm 5\%$
сребрена	-	x0,01	$\pm 10\%$
без боја	-	-	$\pm 20\%$



Мерење на отпорност

Мерење на отпорност со дигитален мултиметар

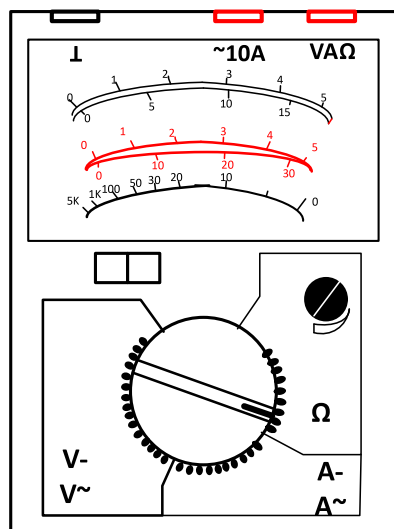


При мерење на отпорност, преклопникот треба да биде во некоја позиција од мерното подрачје за мерење на отпорност, означено со Ω или OHM. Елементот чија отпорност се мери не смее да биде под напон и треба да биде изолиран (не треба да биде поврзан со други елементи или во некое коло). Исто така, при мерење, изводите на елементот не смее да се допираат со раце.

Мерењето ќе биде со најголема точност доколку изберете мерен опсег во којшто резултатот ќе биде прикажан со најмногу цифри на дисплејот. Тоа е првиот повисок мерен опсег од вредноста што ја мерите.

При отчитување на резултатот, мерната единица (ом Ω) ќе биде со префикс (К – кило, М – мега) кој го одредувате според позицијата на преклопникот.

Мерење отпорност со аналоген мултиметар



Кај аналогните мултиметри за мерење отпорност неопходно е потребна батерија. Поголемиот број инструменти користат една или две батерии од 1,5 V.

Отчитување на вредноста на отпорот се врши на посебна скала означена со Ω . Мерната скала за мерење отпорност се разликува од мерните скали за електричен напон и јачина на електрична струја, во следното:

1. Оваа скала е нелинеарна затоа што поделоците не се на еднакви растојанија;
2. Почетокот на скалата (омската нула) се наоѓа на десната страна, а на левиот крај на скалата, отпорноста е бесконечна.

Пред да се употреби инструментот како омметар, мерните сонди треба накратко да се спојат. Стрелката ќе се отклони во лево и мора да се совпадне со омската нула. Ако стрелката не се совпаѓа со омската нула, треба нејзината положба да се коригира со помош на соодветното копче кое постои на инструментот за таа намена. Оваа постапка се повторува пред секое мерење и при секоја промена на мерниот опсег.

Вредноста на мерената отпорност се добива така што отчитаниот број на поделоци се множи со бројот ($\times 1$, $\times 10$, $\times 100$...) на која позиција е поставен преклопникот. Мерењето ќе биде најточно ако преклопникот се наоѓа на позиција при којашто стрелката се наоѓа во втората половина на скалата (каде што поделоците на скалата се најретки).

Прилог 3

ПРИЛОГ 4: Мерење електричен напон и јачина на електрична струја

Мерењето на електричен напон и јачина на електричната струја ќе биде објаснето на мерниот инструмент прикажан на сликата. Во принцип, начинот на мерење со друг инструмент е ист со опишаниот.

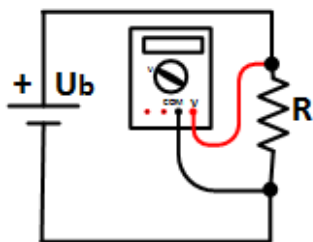
Мерење електричен напон



При мерење еднонасочен електричен напон, преклопникот треба да биде во некоја позиција од мерното подрачје означено со VOLT.

Ако се мери **наизменичен напон**, преклопникот повторно е во некоја позиција од мерното подрачје означено со VOLТ, но сега **дополнително треба да се притисне копчето означено со AC**, во горниот десен агол на инструментот. Кога копчето е притиснато, на дисплејот се појавува индикација AC и тогаш инструментот е нагоден за мерење наизменичен напон.

Мерните кабли треба да се постават во соодветните приклучоци: црниот кабел во приклучокот означен со COM, а црвениот кабел во приклучокот означен со V.Ω.FREQ.



За мерење електричен напон, инструментот се поврзува паралелно помеѓу точките меѓу кои се мери напонот. Црвениот мерен кабел се поврзува на точката со повисок потенцијал, а црниот мерен кабел на точката со понизок потенцијал.

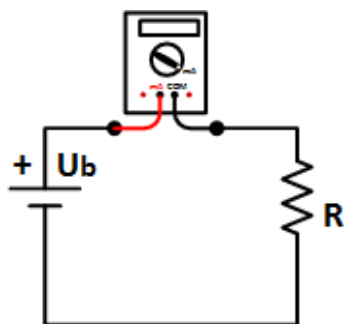
Мерење јачина на електрична струја



При мерење јачина на еднонасочна електрична струја, преклопникот треба да биде во некоја позиција од мерното подрачје означено со AMP.

Ако се мери **јачина на наизменична електрична струја**, преклопникот повторно е во некоја позиција од мерното подрачје означено со AMP, но сега **дополнително треба да се притисне копчето означено со AC**, во горниот десен агол на инструментот. Кога копчето е притиснато, на дисплејот се појавува индикација AC и тогаш инструментот е нагоден за мерење јачина на наизменична електрична струја.

Мерните кабли треба да се постават во соодветните приклучоци: црниот кабел во приклучокот означен со COM, а црвениот кабел во приклучокот означен со mA.



За мерење јачина на електрична струја, инструментот се приклучува редно во гранката во којашто се мери струјата.

ПРИЛОГ 5: Калеми

Калемите се пасивни компоненти кои наоѓаат примена во струјни кола на наизменичен напон. За еднонасочен напон, калемите претставуваат куса врска. Карактеристично за калемите е дека ја претвораат електричната енергија во магнетна енергија и обратно.

Калемот претставува намотка со одреден број навивки од бакарна жица изолирана со лак. Може да биде намотан на јадро од некој феромагнетен материјал или да биде изведен како самонесечки воздушен калем.



Величината што го карактеризира калемот е неговата индуктивност. Основна мерна единица за индуктивност е хенри [H]. Се користат и помалите единици mH и μ H.

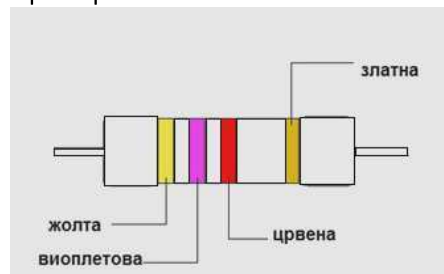
Освен индуктивноста, други важни параметри кои го карактеризираат еден калем се: максимално дозволен напон кој смее да се приклучи на краевите на калемот и максимално дозволена струја која може да протече низ калемот без да предизвика негово оштетување.

Обележување на калемите

Фабрички произведените калеми се обележуваат со бои и начинот на читање на индуктивноста на калемот според боите е ист како кај отпорниците. Прочитаната вредност е во μ H.

Боја	Број	Множител	Толеранција
Црна	0	1	/
Кафена	1	10	1
Црвена	2	100	2
Портокалова	3	1000	3
Жола	4	10000	4
Зелена	5	100000	0,5
Сина	6	1000000	0,25
Виолетова	7	10000000	0,1
Сива	8	100000000	0,05
Бела	9	1000000000	/
Златна	/	0,1	5
Сребрена	/	0,01	10

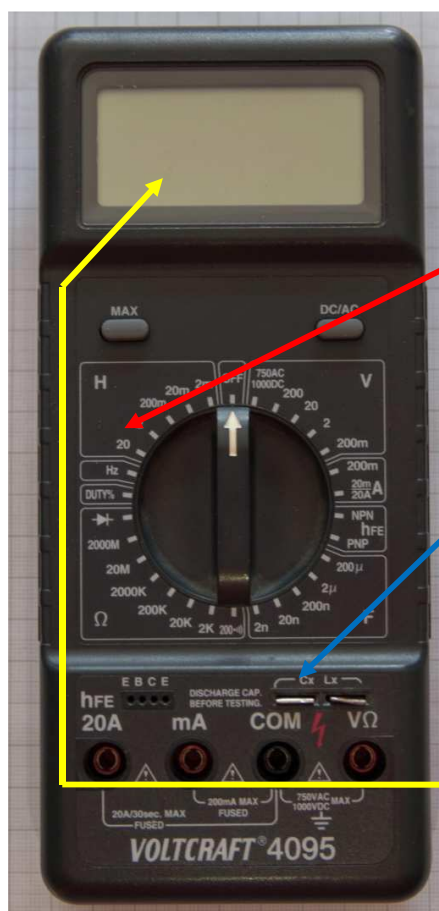
Пример:



$$L = 47 \times 100 = 4700 \mu\text{H} = 4,7 \text{ mH} \pm 5\%$$

Мерење на индуктивност

Индуктивноста на калем се мери со помош на мултиметар кој има можност да мери индуктивност или со посебен инструмент наменет за мерење индуктивност. На сликата е прикажан дигитален мултиметар кој има можност да мери индуктивност. Во продолжение на текстот е објаснето мерењето индуктивност со помош на овој мултиметар. Принципот на мерење со некој друг инструмент кој има можност да мери индуктивност е сличен со опишаниот.



Мерење индуктивност се врши на тој начин што преклопникот се поставува на мерно подрачје за мерење индуктивност на најголемиот мерен опсег.

Изводите на калемот се поставуваат во соодветните приклучоци за калем.

Понатаму, се избира мерен опсег на кој резултатот ќе биде прикажан со најмногу цифри.

Се отчитува вредноста прикажана на дисплејот.

Во зависност од положбата на преклопникот, се одредува дали прочитаната вредност е искажана во H или во mH.

Кај некои инструменти не постои посебен приклучок за калемот, туку мерењето се врши со помош на мерните кабли. Во ваков случај, многу е погодно ако мерните кабли на крајот завршуваат со штипки на коишто се спојуваат изводите на елементот што се испитува. Мерењето ќе биде поточно во случај кога мерните кабли се пократки.

