

Штефица Ујчиќ
Анка Чушкаровска
Ѓорѓи Насковски

Ф И З И К А

ЗА II ГОДИНА

РЕФОРМИРАНО ГИМНАЗИСКО ОБРАЗОВАНИЕ



Скопје, 2002 год.

КНИГОИЗДАТЕЛСТВО “МАКЕДОНСКА ИСКРА” - СКОПЈЕ

Едиција: УЧЕБНИЦИ

Штефица Ујчиќ
Анка Чушкаровска
Ѓорѓи Насковски

ФИЗИКА ЗА II ГОДИНА
РЕФОРМИРАНО ГИМНАЗИСКО ОБРАЗОВАНИЕ

Рецензенти:
Нада Коњановска
Проф. д-р. Дане Гершановски
Симеон Гешовски

КНИГОИЗДАТЕЛСТВО “МАКЕДОНСКА ИСКРА” - СКОПЈЕ

Бул. “Кочо Рацин” бр. 10
Скопје, Република Македонија
тел/факс: ++ 389–2–136–318
e-mail: *makedonskaskra@email.com*

Штефица Ујчик
Анка Чушкаротска
Ѓорѓи Насковски

ФИЗИКА ЗА II ГОДИНА РЕФОРМИРАНО ГИМНАЗИСКО ОБРАЗОВАНИЕ

За издавачот
СУНЧИЦА ЗМЕЈКОВСКА

Главен и одговорен уредник
СЛАВЕ НИКОЛОВСКИ – КАТИН

Уредници
ДАФИНКА НИКОЛОВСКА
НЕБОЈША ЈОВАНОВСКИ

Лектура и коректура
Проф. РАСКО Н. ЛОЗАНОВСКИ

Компјутерска обработка
НЕБОЈША ЈОВАНОВСКИ

ПЕЧАТИ
“ГРАФИЧКИ ЦЕНТАР” – Скопје

CIP – Каталогизација во публикација
Народна и универзитетска библиотека “Св. Климент Охридски”, Скопје

537(075.3)
621.3(075.3)

УЈЧИК, Штефица
Физика: за II година гимназиско образование / Штефица Ујчик,
Анка Чушкаротска, Ѓорѓи Насковски. – Скопје : Македонска Искра,
2002. – 142 стр. : илустр. (претежно во бои) ; 25 cm

ISBN 9989-831-51-3
1. Чушкаротска, Анка 2. Насковски, Ѓорѓи

COBISS-ID 50009354

Со решение на Министерството за образование и наука на Република Македонија
бр. 01–5177/1 од 31.9.2002 година, се одобрува употребата на овој Учебник по
физика за II година, реформирано гимназиско образование

Предговор

Овој учебник по физика е наменет за учениците од II година на гимназиското образование. Содржините кои се опфатени во него се според Планот и Програмата за реформираното гимназиско образование, заситени со два часа седмичен фонд.

При самата изработка на учебникот, се водеше посебна сметка тој да ги задоволи стандардите проишани од Борот за развој на образованието на Република Македонија. Авторите, кои воедно се непосредни реализатори на наставно-образовниот процес, особено внимание посветија на корелацијата меѓу програмските содржини за основното и средното образование, прилагодувајќи го пристапот и обработката на наставните содржини според возрастa и психофизичките способности на учениците.

Во учебникот се обработени шест тематски целини:

- Електрично поле;
- Електрична струја;
- Магнетно поле;
- Електромагнетна индукција;
- Осцилации и
- Наизменична струја.

Најголем дел од содржините се илустрирани со цел да го привлечат вниманието на ученикот, а воедно и да допринесат истите полесно да бидат совладани. На крајот од секоја тематска целина дадени се прашања за проверка на усвоените знаења, како и задачи (со решенија) кои ќе помогнат за примена на стекнатото знаење.

Во целиот учебник доследно е применет (SI) - меѓународниот систем на единици.

На крајот од учебникот е даден индекс на поими и величини.

Голема благодарност им изразуваме на рецензентите за нивните судесни и добронамерни забелешки при изработката на учебникот.

Не е потребно посебно да истакнуваме дека со голема благодарност ќе го примиме секој предлог за подобрување или дојолнување на учебникот како и укажувањето на можните пропусты и грешки.

Автори

Предговор	1
Содржина	3
1. Елекџрично поле	9
Наелектризирање на телата. Закон за запазување на електричен полнеж	9
Наелектризирање на телата	9
Взаемно дејство меѓу електрични полнежи. Кулонов закон	11
Електростатско поле. Карактеристики на електростатско поле	13
Јачина на електрично поле	13
Електрични силиви линии	14
Хомогено електрично поле	15
Електричен потенцијал	16
Еквипотенцијални површини	17
Електричен напон	18
Електричен напон во хомогено поле	19
Проводник во електрично поле	19
Површинска густина	20
Распоред на електричество по изолатори	21
Изолатор во електрично поле	21
Електричен капацитет	22
Конензатори	23
Видови кондензатори	24
Плочест кондензатор	24
Лајденска чаша	24
Променлив кондензатор	24
Блок кондензатор (хартиен)	25
Електролитски кондензатор	25
Сврзување на кондензатори	25
Сериско врзување	26
Паралелно врзување	26
Енергија на електрично поле	27
Да го провериме своето знаење	28
Задачи за вежби	29
2. Елекџрична струја	33
Основни поими за електрична струја	33
Дејство на хомогено електрично поле врз електрични полнежи	33
Дејство на хомогено електрично поле врз слободни електрони во метален проводник	33
Катјони и анјони во хомогено поле	33
Движење на електрични полнежи	33
Извори на струја. Електричен струен круг	34
Јачина на електрична струја	35
Трите ефекти на електричната струја	37
Омов закон	37
Омов закон за дел од струен круг	37
Омов закон за цел струен круг	39
Електричен отпор	40
Зависност на отпорот од карактеристиките на проводникот	40
Зависност на отпорот од температурата	41
Суперпроводливост	42
Разгранет струен круг. Кирхофови правила	44
Прво Кирхофово правило	44
Второ Кирхофово правило	45
Примена на Кирхофовите правила во практиката	46
Отпорници. Сврзување на отпорници	47
Отпорници	47
Сериско сврзување на отпорниците	48

Паралелно сврзување на отпорниците	49
Волтметри и амперметри	50
Работа и моќност на права постојана струја. Џул-Ленцов закон	51
Работа на електрична струја	51
Џулов ефект. Џул-Ленцов закон	52
Полупроводници	54
Сопствена проводливост	54
Примесна проводливост	57
Полупроводници од n -тип	57
Полупроводници од p -тип	57
Полупроводничка диода	58
Транзистор	60
Термоелектронска емисија. Катодна цевка	62
Едисонов ефект	62
Катодна цевка	65
Електролити. Закон за електролиза	67
Електролити	67
Електролиза. Фарадеев закон за електролиза	70
Несамостојно и самостојно електрично празнење низ гасови	71
Да го провериме нашето знаење	76
Вежби и задачи	77
3. Магнетно поле	81
Магнетно поле на природни и вештачки магнети	81
Што е магнетизам?	81
Кои се извори на магнетното поле?	81
Магнетни силиви линии	82
Магнетно поле на прав проводник	83
Магнетен лист	84
Магнетно поле на соленоид	84
Магнетизација	85
Магнетна индукција. Магнетен флукс	85
Магнетна индукција	85
Магнетен флукс	86
Јачина на магнетно поле	86
Пара, феро и дијамагнетици	87
Амперова сила	88
Заемно дејство на паралелни струи. Лоренцова сила	90
Заемно дејство на паралелни струи	90
Лоренцова сила	91
Движење на наелектризирани честички во хомогено магнетно поле	92
Да ги провериме стекнатите знаења	94
Вежби и задачи	95
4. Елекџромагнетна индукција	99
Појава на електромагнетна индукција	99
Закон за електромагнетна индукција	101
Насока и големина на индуцираниот напон (електромоторна сила)	101
Големина на индуцирана електромоторна сила во прав проводник кој се движи	102
Самоиндукција	105
Магнетна енергија. Енергија на магнетно поле	107
Да ги провериме стекнатите знаења	110
Вежби и задачи	111
5. Осцилации.....	115
Осцилаторни движења	115
Просто хармониско движење	116
Елементи на осцилаторното движење	116
Осцилаторно движење како проекција на кружно движење	117
Карактеристични величини на хармониско осцилаторно движење	117
Елонгација на хармониско осцилаторно движење	117

Брзина на хармониско осцилаторно движење	118
Сила кај хармониско осцилаторно движење	119
Период на хармониско осцилаторно движење	119
Математичко нишало. Физичко нишало	119
Математичко нишало	119
Период на математичко нишало	120
Физичко нишало	121
Енергија на осцилаторно движење	123
Присилени осцилации. Резонанција	123
Примена на резонанцијата	124
Заштита од резонанција	125
Придушени и непридушени осцилации	125
Придушени осцилации	125
Непридушени осцилации	125
Сложување на осцилации	126
Електричен осцилаторен круг. Период на електрични хармониски осцилации	126
ЛЦ-осцилаторен круг	126
Теорија на осцилаторниот круг	127
Период на електрични осцилации	128
Аналогија меѓу механички и електрични осцилации	129
Енергија складирана во калемот и кондензаторот	129
Непридушени електрични осцилации	130
Да го провериме своето знаење	132
Задачи за вежби	133
6. Наизменични сѝруи	137
Добивање на наизменични струи	137
Теорија на генератор со правоаголна рамка како ротор	139
Ефективни вредности	140
Струен круг на наизменична струја	141
Омов закон за капацитет	143
Ефектот на капацитетот врз наизменичните струи	143
Израз за напонот како функција од јачината на струјата	144
Омов закон за индуктивитет	145
Ефектот на индуктивитетот врз наизменичната струја	145
Израз за напонот во зависност од функцијата на струјата	146
Фазно изместување	147
Омов закон за сериска врска на термоген отпор, индуктивитет и капацитет за наизменична струја. Импенданса	148
Толкување на појавата	149
Резонанција	150
Селективност на кругот при резонанција	150
Електрична моќност	151
За случај на синусоидна струја	151
Потрошена електрична енергија	151
Активна моќност	152
Фактор на моќност	152
Трифазни наизменични струи	153
Електромотори	155
Трансформатори	157
Да го провериме нашето знаење	160
Вежби и задачи	161
Индекс на поимите	163

1. Електрично поле

Наелектризирање на телата. Закон за запазување на електричен полнеж

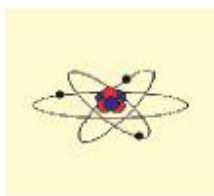
Нашите денешни сознанија за структурата на материјата укажуваат на тоа дека во неа се наоѓа енергија од електрична природа. Така, на пример, електричните празнења што се случуваат по неколку илјади секоја секунда, космичкото зрачење и др. се состои од наелектризирани честички.

Природата на електрицитетот, наједноставно ќе ја објасниме ако тргнеме од атомот и неговата структура.

Атомот е изграден од јадро кое е позитивно наелектризирано, во кое е сконцентрирана скоро целокупната негова маса и електронска обвивка, изградена од електрони кои се негативно наелектризирани.

Јадрото е изградено од протони, кои се позитивно наелектризирани и неутрони кои се електронеутрални.

Кога атомот е во нормална состојба, тој е електронеутрален, односно збирот на позитивниот електричен полнеж е еднаков на збирот на негативниот електричен полнеж (Слика 1).



Слика 1: Атомски модел на литиум

Тогаш атомот содржи еднаков број протони и електрони. Нарушувањето на оваа бројна еднаквост на електроните и протоните во атомите доведува до наелектризирање на атомот.

Меѓу јадрото и електронската обвивка постојат привлечни електрични сили.

Што ќе се случи со светот ако тие сили не постојат?

Атомите многу често под дејство на надворешни влијанија можат да присоединат или изгубат определен број на електрони.

Тогаш атомот или има вишок или кусок на електрони поради што станува негативен или позитивен јон.

Дефиниција: Процесот на присоединување или откинување на електрони кај неутрален атом се вика **јонизација**.

Кое тело е позитивно наелектризирано, а кое негативно?

Во (SI) системот единица за количество електричество е $1C$ (кулон). Најмало количество електричество содржи електронот и се вика елементарен електричен полнеж и изнесува:

$$e=1,6 \cdot 10^{-19}C$$

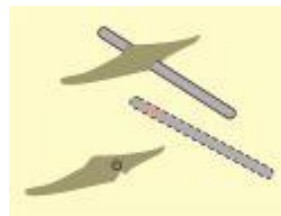
Според тоа, $1C=6,25 \cdot 10^{18}$ елементарни електрични полнежи.

Наелектризирање на телата

Лесната подвижност на слободните електрони има битна улога за наелектризираност на телата, при што тие се наелектризираат позитивно односно негативно. Постојат неколку начини на издвојување на негативни од позитивни електрични полнежи:

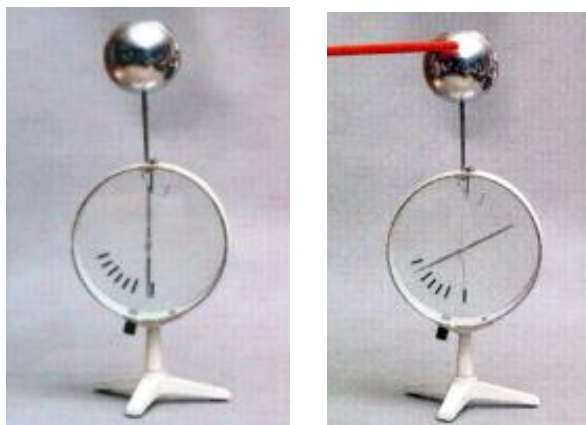
- со триење;
- со допир;
- со електрично поле (инфлуенција со која ќе се запознаеме подоцна).

Наелектризирање со триење. Овој начин на наелектризирање се однесува само за изолатори. Стаклена прачка протриена со свилена крпа ќе се наелектризира позитивно, а крпата негативно, заради премин на извесен дел на електрони од прачката на крпата. Ако пак ебонитна прачка се протрие со волнена крпа, тогаш дел од електроните од крпата ќе поминат на прачката, па таа ќе се наелектризира негативно, а крпата позитивно. (Слика 2а)



Слика 2а: Наелектризирање на тело со триење

Обид: Ако металното топче на електро-скопот го допреме со наелектризирана стаклена или ебонитна прачка, стрелката ќе се отклони. Ако топчето го допреме со прст, стрелката ќе се врати во почетната положба.



а)

б)

Слика 3

Обид: Ако бакарна прачка протриена со волнена крпа ја приближиме на електро-скоп, нема да се забележи отклонување (Слика 4).



Слика 4

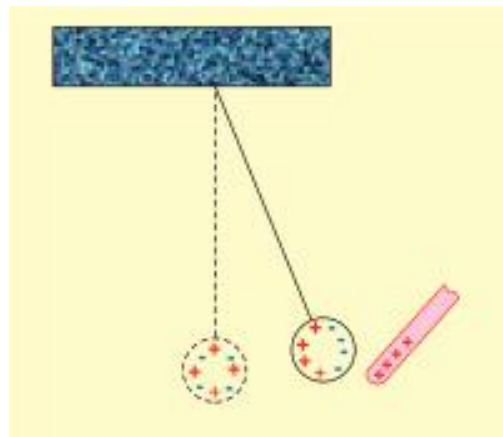
Од двата обиди може да се покаже дека постојат два вида на супстанции: супстанции кои можат да се наелектризираат кога ги држиме директно со рака и други за кои тоа не е можно.

Супстанциите кои можат да се наелектризираат се викаат *изолатиори*, а вторите *проводници*.

Бакарната прачка не може да се наелектризира, бидејќи таа како и нашето тело е проводник така што со триење, во неа создадениот вишок на електрични полнежи бргу се придвижуваат од прачката во нашето тело, поминувајќи во Земјата и таа останува електронеутрална.

Наелектризирање со дойир. Овој начин на наелектризирање се врши така што наелектри-

зирано тело се допира до неутрално тело при што доаѓа до премин на електрони од едното на другото тело. Ако стаклената прачка која е позитивно наелектризирана се допре до неутрално тело, тогаш извесен број на електрони од неутралното тело ќе поминат на стаклената прачка и ќе ја неутрализираат, а неутралното тело ќе остане позитивно наелектризирано (Слика 5).



Слика 5: Наелектризирање на тело со допир

Големиот број обиди потврдуваат дека во природата постојат само два вида електричество: позитивно и негативно.

Обид: Две метални топчи ќе ги наелектризираме со еднакво количество електричество, но спротивно по знак. Со пробалка (тоа е метално топче со изолаторска рачка) пренесуваме неколку пати количество електричество од позитивно наелектризирана топка на електро-скоп, при што неговата стрелка се повеќе се отклонува. Кога тој ќе биде доволно позитивно наелектризиран, со пробалката ќе пренесуваме негативно количество електричество од негативно наелектризираната топка. Отклонот на топката се повеќе ќе се намалува.

Со овој обид се потврдува дека количествата електричества се однесуваат како целите броеви во математиката.

Следува дека количеството електричество е квантувано и може да напишеме:

$$Q = N \cdot e$$

каде Q е стандардна ознака за количество електричество, N е цел број, а e - елементарно количество електричество.

Пример: Некоје тело може да има количество електричност од 2 електрона или 3 електрони, но не може од 2,5, како што не постои половина протон.

За електричните појави важи законот за запазување на електрични полнежи:

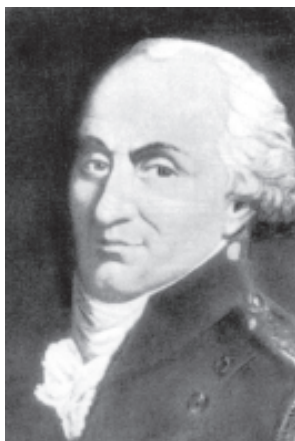
Во изолиран систем вкупното количество електричност (позитивно и негативно) секогаш е еднакво на нула.

Електричност во природата ниту се создава, ниту се губи, само се предава од едно тело на друго, при што вкупниот збир е секогаш константен.

Согласно овој закон следува дека под било какви околности да се случува електростатската појава, ако на некое место се појави негативно електричност, во исто време мора на друго место да се појави исто толкаво позитивно количество електричност.

Взаемно дејство меѓу електрични полнежи. Кулонов закон

Две наелектризираны тела или се одбиваат или се привлекуваат. Ова дејство е само квалитативно толкувано се до 1785 г. кога францускиот физичар Шарл Кулон по експериментален пат не ја утврдил квантитативната зависност на силите на меѓусебното дејство на наелектризираните тела.



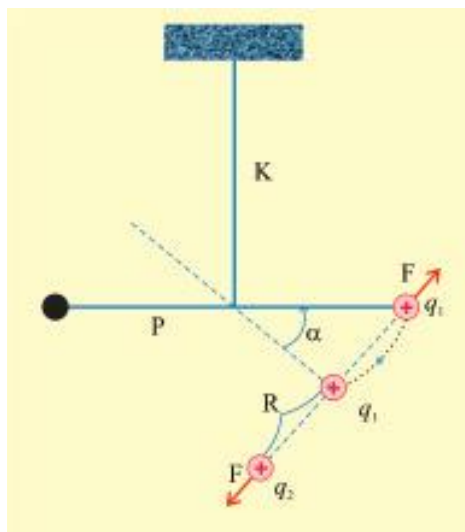
Слика 6: Шарл Кулон (1736 - 1806)

Бидејќи заемното дејство на наелектризираните тела зависи од формата и големината на телата, го воведува поимот точкаст електричен полнеж. Тоа е тело со многу мали димензии

споредено со растојанието до другите тела со кои заемно дејствува.

Како точкаст полнеж може да се сметаат и тела во форма на топка кај кои електричните полнежи се рамномерно распоредени по нивната површина или волумен.

Обидот Кулон го правел со осетлива торзиона терезија (Слика 7). Таа се состои од тенок кварцен конец на кој е обесена хоризонтална изолаторска прачка.



Слика 7

Обидот го вршел во вакуум. На едниот крај се наоѓа позитивно наелектризирано топче со количество електричност q_1 , а на другиот заруди рамнотежа исто такво топче само неутрално.

а) Зависност на заемно дејство на две наелектризираны тела при константно централно растојание.

Кога на количеството електричност q_1 му го приближил количеството електричност q_2 истовремено наелектризирано, се појавила одбивна сила и изолаторската прачка се завртува за определен агол.

Кога количество електричност q_2 што му го приближил на количество електричност q_1 го зголемил за 2, 3 или повеќе пати заклучил дека аголот на завртување се зголемува исто толку пати поради зголемување на одбивната сила. Следува $\sim q_1 \cdot q_2$.

б) Зависност на заемно дејство на две наелектризирани тела од меѓусебното растојание кога $q_1=q_2$.

Ако меѓусебното растојание се зголеми 2, 3 и повеќе пати, заради намалување на силата на заемното дејство, аголот на завртување на хоризонталната прачка се намалува и обратно, следува:

$$F \sim \frac{1}{R^2}$$

Од двете серии на мерења може да се постави основниот закон на електростатичност во вакуум:

$$F = \pm k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{R^2}$$

Знакот плус (+) се однесува за истоимени количества електричества, а знакот минус (-) за разноимени.

Силата на електростатското заемно дејство на две точкести електрични полнежи во вакуум, зависи правопрпорционално од нивниот производ, а обратнопрпорционално од квадратот на нивното меѓусебно растојание.

k – константа на пропорционалноста чија бројна вредност во (SI) системот е еднаква со силата на меѓусебното дејство ако:

$$q_1=q_2=1\text{C}; \quad R=1\text{m}$$

$$\Rightarrow k=F \text{ (бројно)}$$

физичкото значење на k се добива од Кулоновиот закон:

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$$

Според тоа, Кулоновата сила ќе биде:

$$F = \pm 9 \cdot 10^9 \frac{q_1 \cdot q_2}{R^2}$$

Кулоновиот закон строго важи за точкести тела кои мируваат, но може да се применува и кај заемнодејство на хомогено наелектризирани топки, без оглед на нивната големина и меѓусебно растојание. Во тој случај R е централно растојание.

Ако телата имаат друга форма и големи димензии, тогаш нивното заемно дејство може да се определи преку векторски сложувања на си-

лите на заемно дејство на сите точкести елементи на двете тела.

Силите на заемно дејство помеѓу неподвижни наелектризирани тела, кои уште се викаат *кулонови* или *електростатски сили*, се покоруваат на III Њутнов закон.

Кулоновата сила, за разлика од гравитационата сила, зависи од својството на средината во која се наоѓаат наелектризираните тела.

Ако полнежите се наоѓаат во некоја хомогена и изотропна диелектрична средина, силата на заемното дејство се намалува во однос на вакуумот за онолку пати, колку што изнесува диелектричната константа на таа средина.

Тогаш законот ќе гласи:

$$F = \pm \frac{k}{\epsilon_r} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{R^2}$$

Со делење на двете равенки се добива:

$$\frac{F}{F_1} = \epsilon_r \text{ (епсilon)}$$

ϵ_r – релативна диелектрична константа и претставува бездимензионален број кој покажува за колку пати силата на заемно дејство на две наелектризирани тела е помала во однос на вакуум.

Вакуум	1	Стакло	5-10
Воздух	1,000594	Етил алкохол	27
Петролеј	2,1	Вода (хем. чиста)	81
Ебонит	2,8	Камена сол	100.000
Кварц	4,5	Порцелан	6

Во прва година се запознавме со Њутновиот закон за гравитација. Можеме да забележиме дека тие два закони математички се идентични, што ни наведува да размислуваме за можноста на иста природа на двете заемнодејствија кои тие ги опишуваат.

За да се увериме во тоа колку е голема нивната разлика во јачината на нивното заемно дејство, ќе разгледаме еден пример:

Да се споредат гравитационата и електростатската сила помеѓу два протона.

Решение:

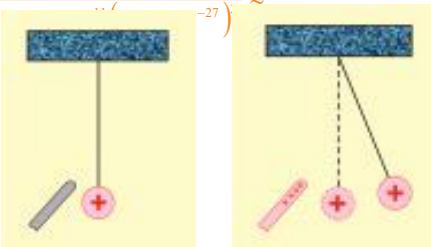
Се гледа дека електростатската сила е далеку поголема од гравитационата.

Електростатско поле. Карактеристики на електростатското поле

Својствата на просторот што го создава наелектризирано тело околу себе се разликува од оној околу електронеутрално тело.

Ако на наелектризирано топче му се приближи неутрална стаклена прачка, нема да се промени положбата на топчето (Слика 8а), но кога на топчето ќе му се приближи наелектризирана стаклена прачка, топчето ќе се одбие (Слика 8б).

Просторот околу наелектризирано тело во кој се јавуваат електрични сили (привлечни или одбивни), се вика *електрично поле*.

$$\frac{\vec{F}}{F_g} = \frac{k \frac{q^2}{r^2}}{\gamma \frac{m^2}{r^2}} = \frac{kq^2}{\gamma m^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2}{9 \cdot 10^{-31}} \approx 1,4 \cdot 10^{34}$$


а)

б)

Слика 8

Електрично поле на неподвижен електричен полнеж се вика *електростатско*, а електрично поле на полнеж во движење се вика *електромагнетно* поле.

Обидите покажуваат дека наелектризираните тела заемно си дејствуваат преку електрично поле кое го карактеризираат следниве својства:

- електричното поле има материјална природа;
- електричното поле од наелектризираното тело се распространува со голема

брзина која во вакуум и воздух изнесува $c=3\text{Ч}10^8 \text{ m/s}$;

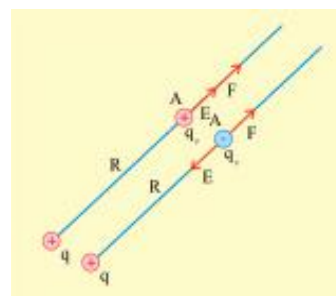
- според своите својства се разликува од сите други својства на материјата;
- електричното поле го карактеризира дејство на наелектризираните тела со точно определена електрична сила;
- електричното поле е напълно определено ако во секоја негова точка се знае големината, правецот и насоката на електричната сила со која тоа дејствува на единичен позитивен електричен полнеж.

Јачина на електрично поле

Најважна квантитативна карактеристика на електричното поле е неговата **јачина**. Таа е векторска величина определена со правец, насока и модул во секоја точка на полето.

Ако во произволна точка A од електричното поле на неподвижен електричен полнеж q , во вакуум на растојание R се внесе пробно количество електричество q_p (условно пробното количество електричество е позитивно и е многу помало од q) (Слика 9а).

(Ако пробното количество електричество кое е внесено во истата точка е негативно, тогаш помеѓу него и количеството електричество кое го создава полето, ќе се појави привлечна сила (Слика 9б).)



а)

б)

Слика 9

Заради истоимена наелектризираност на полнежите, меѓу нив ќе се појави одбивна електрична сила \vec{F} која ќе го оддалечи q_p од q . Ако пробното количество се зголеми на $2q_p$, $3q_p$ итн., тогаш и одбивната Кулонова сила ќе се зголеми на 2, 3 итн. Според тоа:

Следува дека односот меѓу силата и големината на пробното количество електричество q_p во дадена точка од електричното поле е секогаш константна величина и се вика **јачина** на електричното поле.

Јачина на електрично поле во (SI) системот се мери во единица $N \cdot C^{-1}$ или N/C .

Дефиниција: Во дадена точка од електричното поле јачината ќе биде $1N/C$ ако на внесено позитивно количество електричество од $1C$ во таа точка полето му дејствува со сила од $1N$.

Ако во равенката се замени Кулоновата сила, ќе се добие зависноста на јачината на електричното поле на точкаст електричен полнеж од растојанието од наелектризираното тело:

;

Дефиниција: Во дадена точка од електричното поле, јачината е пропорционална од количеството електричество, а обратно пропорционална со квадратот на растојанието меѓу полнежот и таа точка.

Кога наелектризираното тело се наоѓа во материјална средина различна од вакуумот:

$$E = \frac{k}{\epsilon_r} \cdot \frac{q}{R^2},$$

$$\epsilon_r = \frac{E}{E_1}$$

ϵ_r – релативна диелектрична константа и претставува бездимензионален број кој покажува колку пати јачината на електричното поле е помала во некој диелектрик за разлика од вакуумот.

Да запомниме:

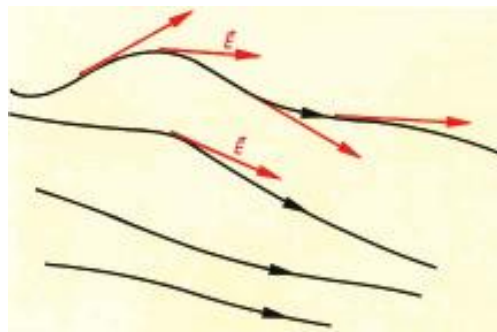
- векторот на силата \vec{F} и векторот на јачината на електричното поле имаат ист правец;

- имаат ист правец и насока ако полнежите се истоимено наелектризирани;
- спротивна насока ако се разноимено наелектризирани;
- модулите им се пропорционални.

Електрични силиви линии

Постоењето на електричното поле може да се потврди само со помош на наелектризирано тело. За да се направи видливо електричното поле, а воедно и да се добијат определени информации за неговата јачина, се воведуваат *електрични силиви линии*.

Електрична силова линија е линија кај која повлечената тангента во која и да е точка, се совпаѓа по правецот на векторот на јачината на електричното поле (Слика 10).



Слика 10

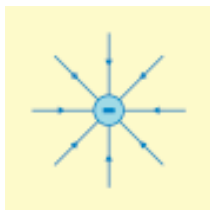
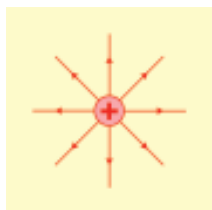
Електрична силова линија претставува патека на позитивен пробен електричен полнеж кој слободно се движи во електрично поле.

Насоката на електричните силиви линии е определена така што во било која точка во просторот околу точкаст електричен полнеж се донесува позитивен електричен полнеж. Согласно Кулоновиот закон неподвижниот полнеж ќе му дејствува на позитивниот единечен електричен полнеж со одбивна или привлечна сила.

Според тоа, патеките по кои се движат единечни полнежи имаат правец и насока на јачината на електричното поле во секоја негова точка.

Според тоа, кај изолиран точкаст позитивен електричен полнеж силивите линии радијално излегуваат од полнежот кон надвор (Слика 11а), додека кај негативен точкаст електричен пол-

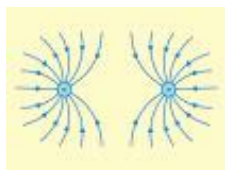
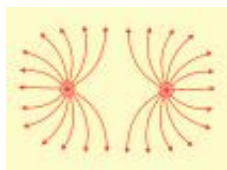
неј радијално од надвор кон полнежот (Слика 11б).



Слика 11а, б: Структура на електрични силиви линии на точкаст електричен полнеж

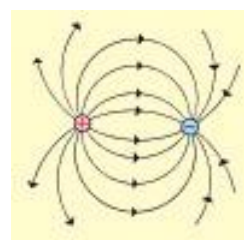
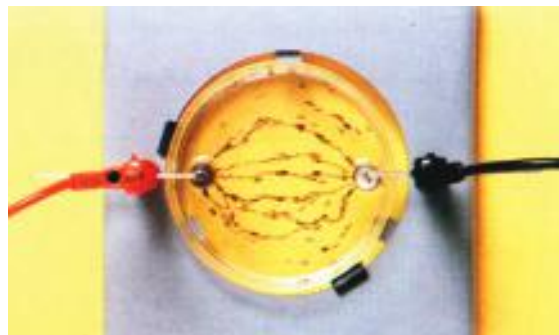
Забелешка: На фотографијата се гледа структурата на синтетички влакна врз стаклена плоча во електрично поле.

Ако во близина се наоѓаат истоимено наелектризирани полнежи, заради одбивното дејство доаѓа до искривување на електричните силиви линии (Слика 12а, б).



Слика 12а, б: Структура на силивите линии на истоимени електрични полнежи

Ако полнежите се разноимено наелектризирани, силивите линии излегуваат од позитивниот, а влегуваат во негативниот електричен полнеж (Слика 13а, б).



Слика 13а, б: Структура на силивите линии на разноимени електрични полнежи

Да запомниме:

- електричните силиви линии кај изолиран точкаст електричен полнеж се секогаш отворени;
- електричните силиви линии секогаш тргнуваат од позитивен а завршуваат во негативен електричен полнеж;
- електричните силиви линии никогаш не се сечат и не се допираат.

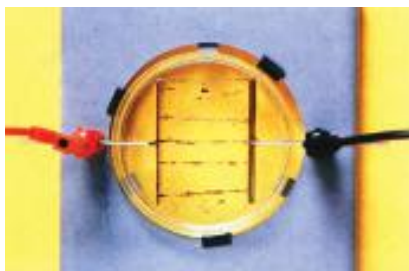
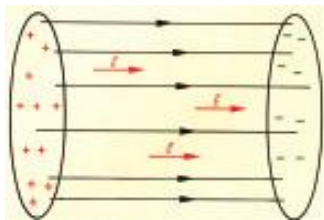
Хомоѓено електрично поле

Сите полиња на точкасти електрични полнежи се нехомогени.

Поле кое во сите свои точки има иста јачина и насока се вика *хомоѓено електрично поле*.

Ова поле може да се оствари меѓу две паралелни плочи разноимено наелектризирани. Ако позитивен единечен електричен полнеж се постави во било која точка, тој ќе биде одбиен од позитивната, а ќе биде привлечен од негативната плоча при што ќе се движи нормално на нивните површини.

Хомогеноста е нарушена само на краевите на плочите (Слика 14).



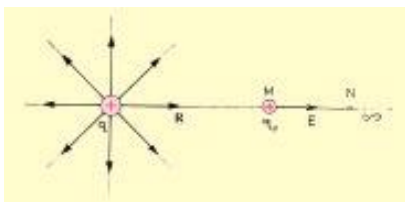
Слика 14: Структура на електричните силиви линии меѓу две паралелни разноимено наелектризираны плочи (хомогено електрично поле)

Електричен потенцијал

Секој електричен полнеж во електростатско поле има определена потенцијална енергија.

Ако во дадена точка од електричното поле на неподвижен електричен полнеж $+q$, се постави слободен електричен полнеж q_p , силите на полето придвижувајќи го од една до друга точка ќе извршат определена работа. Работата е толку поголема колку повеќе слободниот електричен полнеж се одалечи од полнежот во чие поле тој се движи.

Кога слободниот електричен полнеж се постави во точка M од електричното поле на неподвижниот полнеж $+q$, на растојание R од него (Слика 15), тогаш силите на полето ќе го придвижат до точка N при што ќе извршат определена работа, што покажува дека полето во точката M има извесна потенцијална енергија.



Слика 15

Извршената работа од страна на силите на полето ќе биде:

$$A = F \cdot R$$

а, бидејќи е познато дека $F = E \cdot q_p \Rightarrow$

$$A = E \cdot R \cdot q_p$$

Работата што ја врши полето зависи пропорционално од неговата јачина, од количество на електричество на слободниот полнеж, како и од растојанието до испитуваната точка.

Потенцијалната енергија во дадена точка од полето претставува негова *енергетска карактеристика*.

Потенцијалната енергија што ја има единечен полнеж ($+1C$) внесен во дадена точка од полето, е наречена **електричен потенцијал**.

Електричен потенцијал е *скаларна енергетска карактеристика* на електричното поле во секоја негова точка.

Потенцијалот во дадена точка од електричното поле се мери според работата што треба да се изврши за да се пренесе позитивен електричен полнеж ($+1C$) од бескрајност во таа точка на полето.

За да биде вратен позитивниот единечен електричен полнеж повторно во точката M , потребно е да се изврши надворешна работа против силите на полето. Ако дејството се врши во вакуум каде нема загуби на енергија, работата се претвора во потенцијална енергија на пробниот полнеж и се смета за позитивна

$$A = W_p \text{ и } \varphi = \frac{W_p}{q_p}$$

ако $q_p = 1C \Rightarrow \varphi = W_p$ (бројно)

Дефиниција: Електричен потенцијал во дадена точка од електричното поле, бројно е еднаков на работата што треба да се изврши за да се пренесе позитивен единечен полнеж од бескрајност до таа точка.

Да запомниме:

- Позитивен потенцијал има поле создадено од позитивен електричен полнеж;

- Негативен потенцијал има поле создадено од негативен електричен полнеж;
- Работата што ја вршат силите на полето за сметка на потенцијалната енергија е негативна;
- Работата што се врши против силите на полето е позитивна.

Единица за електричен потенцијал се изведува од равенката

$$\varphi = \frac{A}{q_p} \Rightarrow [\varphi] = \left[\frac{A}{q_p} \right]$$

каде: $A=1J$; $q_p=1C \Rightarrow$

$$\varphi = \frac{1J}{1C} = 1V \text{ (волт)}$$

Дефиниција: Електричен потенцијал во дадена точка од полето е $1V$ ако за пренесување на $+1C$ количество електричество од таа точка во бескрајност (или обратно), се изврши работа од 1 џул.

Во практиката често се користат помали или поголеми единици:

$$1mV \text{ (миливолт)} = 10^{-3}V$$

$$1\mu V \text{ (микроволт)} = 10^{-6}V$$

$$1kV \text{ (киловолт)} = 10^3V$$

$$1MV \text{ (мегаволт)} = 10^6V$$

Од равенката

$$A = F \cdot R = k \frac{q \cdot q_p}{R}$$

тогаш за електричен потенцијал ќе важи:

$$\varphi = \frac{A}{q_p} = k \frac{q}{R} \text{ ако } k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

За вакуум: $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{R}$

$$\epsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$$

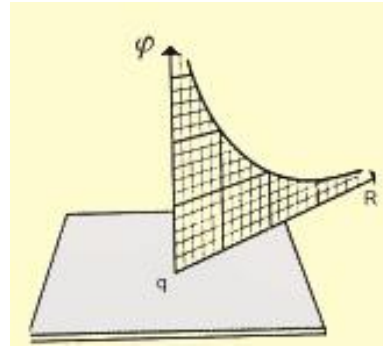
ϵ_0 - електрична константа

Дефиниција: Електричен потенцијал во дадена точка од полето зависи пропорционално од количество електри-

чество на полнежот што го создава полето, а обратнопропорционално со растојанието.

Ако полнежот $+q$ се наоѓа во некоја материјална средина со диелектрична константа ϵ_r , тогаш потенцијалот во неа ќе биде намален во однос на вакуум за толку пати колку изнесува вредноста на таа константа.

$$\varphi_1 = \frac{k}{\epsilon_r} \frac{q}{R}$$



Слика 16: Зависност на електричниот потенцијал од растојанието од полнежот

Да заклучиме:

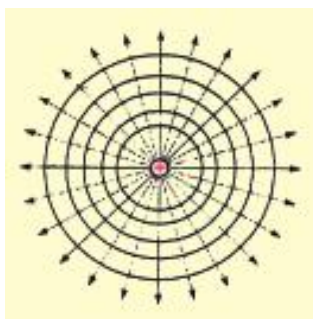
- Електричен потенцијал и електрична потенцијална енергија се две различни величини;
- Електричен потенцијал е својство на електричното поле;
- Електрична потенцијална енергија е енергија на наелектризираното тело кое се наоѓа во некое електрично поле.

Еквипотенцијални површини

Ако материјалната средина во која се наоѓа полнежот $+q$ е хомогена тогаш сите точки кои се еднакво оддалечени од него имаат исти потенцијали.

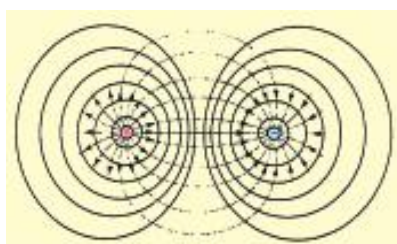
Дефиниција: Точките од електричното поле, што имаат исти потенцијали образуваат површина која е наречена *еквиотенцијална површина*.

Еквипотенцијални површини околу точкест полнеж претставуваат концентрични сфери (Слика 17)

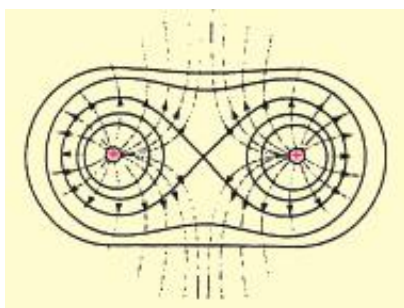


Слика 17: Еквипотенцијални површини на точкаст полнеж

Еквипотенцијалните површини се згуснуваат на оние места, каде електричното поле е појако и обратно (Слика 18а и б).



а)



б)

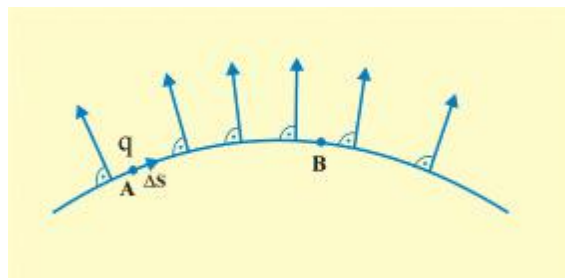
Слика 18: Еквипотенцијални површини на разноимени полнежи (а) и еквипотенцијални површини на истоимени полнежи (б)

Ако телото има произволна форма, тогаш еквипотенцијалните површини ја следат формата на телото.

Еквипотенцијалните линии се цртаат така што меѓу две соседни линии разликата во електричните потенцијали е иста.

Силовите линии на електростатското поле во секоја точка на еквипотенцијалната површина стојат нормално на неа, а за придвижување на

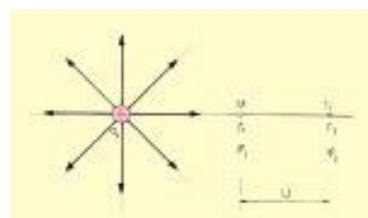
електричен полнеж по таа површина не се врши работа ($A=0$).



Слика 19: Површината на секој проводник претставува еквипотенцијална површина

Електричен напон

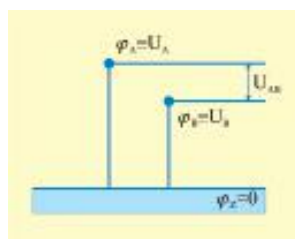
Помеѓу две точки на електрично поле M и N кои лежат на две различни еквипотенцијални површини постои определена потенцијална разлика (Слика 20а)



Слика 20а

$$U = \varphi_1 - \varphi_2$$

Дефиниција: Потенцијална разлика меѓу две точки од дадено електрично поле се вика **електричен напон (U)**



Слика 20б

Напон на две точки во однос на Земјата (Слика 20б)

$$U = \varphi_A - \varphi_B$$

Електричен напон се мери во истите единици во кои се мери и електричен потенцијал (1V)

Дефиниција: Помеѓу две точки од електричното поле напонот изнесува $1V$ ако за пренесување на количество електричество од $1C$ од едната до другата точка е извршена работа од $1J$.

напонот меѓу двете точки од просторот на растојание од $1m$ изнесува $1V$.

Уреди со кои се мери електричниот напон во електростатско поле се викаат електростатски волтметри или волтметри.

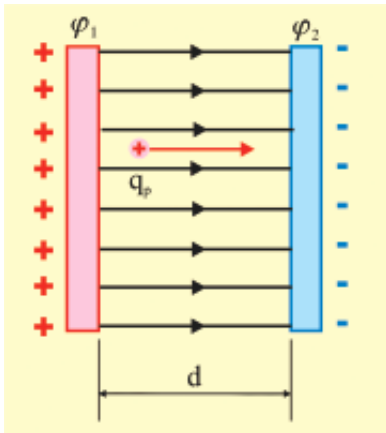
Електричен напон во хомогено поле

Ако во близина на позитивно наелектризираната плоча се постави пробно количество електрицитет $+q_p$, под дејство на електричните сили, пробното количество електрицитет ќе почне да се движи од плочата со електричен потенцијал φ_1 кон плочата со електричен потенцијал φ_2 . Притоа ќе се изврши определена работа:

$$A = F \cdot l = q_p \cdot E \cdot l$$

од каде:

$$\frac{A}{q_p} = El = U; U = \varphi_1 - \varphi_2 = E \cdot l$$



Слика 21

Од овде може да се добие друга единица за јачина на електрично поле:

$$E = \frac{U}{l} \Rightarrow [E] = \frac{[U]}{[l]} = \frac{1V}{1m}$$

каде:

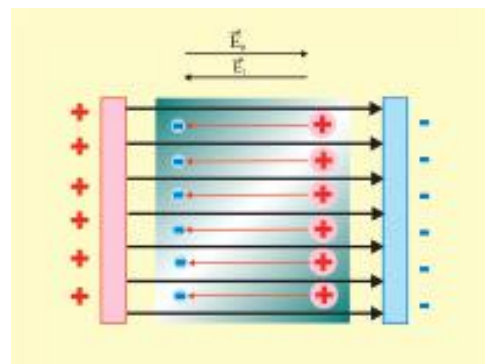
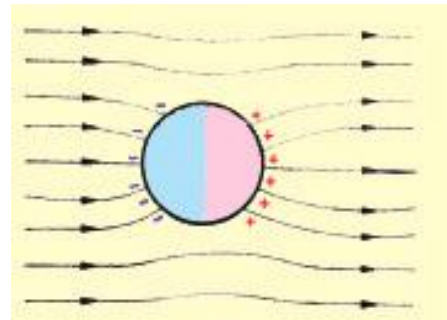
$$U = 1V \\ l = 1m$$

Дефиниција: Хомогено електрично поле има јачина од $1V/m$ (волт на метар), ако

Проводник во електрично поле

Проводниците од прв ред, односно металите во себе содржат слободни електрони кои се движат низ нивната внатрешност. Тие заедно со врзаните електрони го компензираат позитивното количество електричество кое се наоѓа во јазлите на нивните кристални решетки.

Ако неутрален проводник се внесе во хомогено електрично поле, во него ќе започне раздвојување на електричните полнежи. Слободните електрони ќе се движат во насока обратна од надворешното електрично поле, распоредувајќи се по површината на проводникот кој на таа страна ќе се наелектризира негативно, додека на спротивната страна, во насока на полето, која ќе остане со кусок на електрони, ќе биде позитивно наелектризирана.



Слика 22: Проводник во хомогено електрично поле

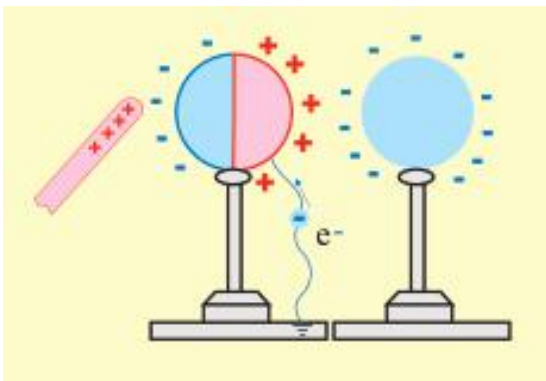
Придвижувањето на слободните електрони во проводникот ќе се врши се додека јачината

на електричното поле внатре во проводникот не се изедначи со јачината на електричното поле под чие дејство се случува наелектризирањето.

Дефиниција: Појавата на наелектризирање на проводници под дејство на надворешно електрично поле се вика *електростатска индукција* или *електрична инфлуенца*, а полнежите *индуцирани полнежи*.

Индуцираните полнежи распоредени на спротивните страни на проводникот се секогаш еднакви по големина само спротивни по знак. Меѓу нив постои електростатска рамнотежа која е резултат на тоа што внатре во проводникот јачината на електричното поле е еднаква на нула.

Проводникот останува наелектризиран се додека постои надворешно електрично поле. Тој може да биде трајно наелектризиран ако едната негова страна се поврзе со Земјата со контактна жичка. Бидејќи Земјата има нула електричен потенцијал, електроните можат од Земјата да поминат на телото или обратно, со што тоа станува едноимено наелектризирано.



Слика 23: Наелектризирање на тело по пат на индукција

Позитивното електричество на проводникот ќе биде неутрализирано откако електрони од Земјата ќе поминат на проводникот тогаш заради истоименост на полнежите ќе се појави одбивна сила и тие максимално ќе се оддалечат, така што ќе се распоредат по површината на проводникот.

Ако проводникот има форма на сфера, полнежите рамномерно се распоредуваат по површината.

Заклучок: Кај проводниците независно дали се шупливи или масивни, тие се наелектризираат само по надворешната површина.

Силовите линии на надворешното електрично поле се нормални на површината на проводниците каде се прекинуваат, а под истиот агол излегуваат од спротивната страна.

Површинска густина

Распоредот на количеството електрицитет по површината на металните проводници е наречена **површинска густина**.

σ - (сигма) - површинска густина;

q - количество електричество;

S - површина на проводникот

Површинска густина на електричество (σ) се карактеризира со количникот од количество електрицитет и површината на која тоа е распоредено.

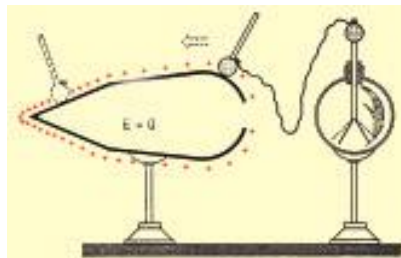
Единица за површинска густина е C/m^2

Ако проводникот има форма на сфера, електричеството ќе се распореди подеднакво по неговата површина.

$$\sigma = \frac{q}{4\pi R^2}$$

Размисли и заклучи од Слика 24!

Ако проводникот има произволна форма, како ќе се распореди количество електричество?



Слика 24: Распоред на електрични полнежи кај коноцилиндар

Распоред на електричеството во изолатори

За разлика од металите распоредот на електричеството кај изолаторите е поинаков. Кај нив електричеството не се распоредува само по површината, туку и во целиот волумен. Затоа кај изолаторите покрај површинската густина се воведува **волуменска густина** на електричеството. Ако изолаторот има форма на топка, неговата волуменска густина ќе изнесува:

$$\rho = \frac{3q}{4\pi R^3}$$

ρ - волуменска густина

R - радиус на топка

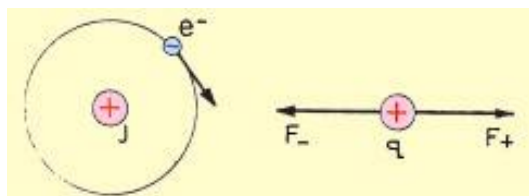
Единица за волуменска густина е:

$$1 \frac{C}{m^3}$$

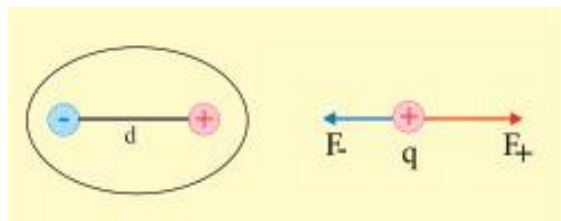
Изолатор во електрично поле

За разлика од металите (проводниците) изолаторите (диелектриците) немаат слободни електрони, затоа нивното однесување во електрично поле е поинакво.

Изолаторите во нормална состојба се изградени од неполаризирани молекули (водород, азот и други), а некои од поларизирани-диполи (вода, етер, амоњак и друго) (Слика 25 и сл. 26).

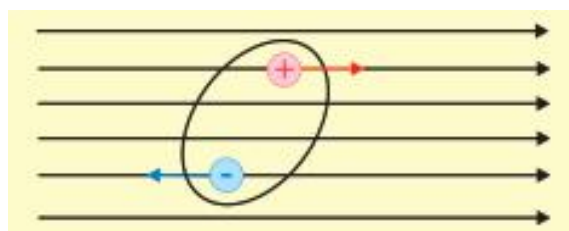


Слика 25: Неполаризирана молекула кај која центрите на позитивното и негативното електричество се совпаѓаат



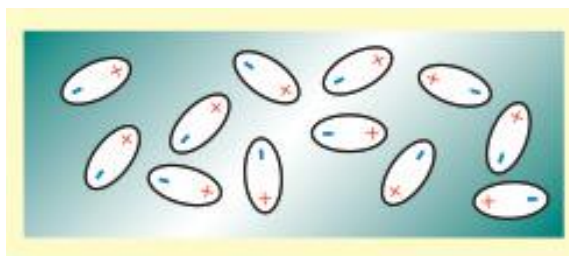
Слика 26: Поларизирана молекула (дипол)

- Кај неполаризираните молекули електроните и атомското јадро, на надворешните електрични полнежи дејствуваат со еднакви, но обратно насочени сили, така што во однос на надворешната околина нивното заедничко дејство е еднакво на нула.
- Диполите на надворешните полнежи дејствуваат со строго определени сили чии насоки зависат од односот на диполното растојание (d) кон електричниот полнеж.
- Кога еден дипол се најде во електричното поле, тогаш под дејство на момент од спрег на сили тој ќе се заврти во насока на полето (Слика 27)



Слика 27: Ориентирање на дипол во електрично поле

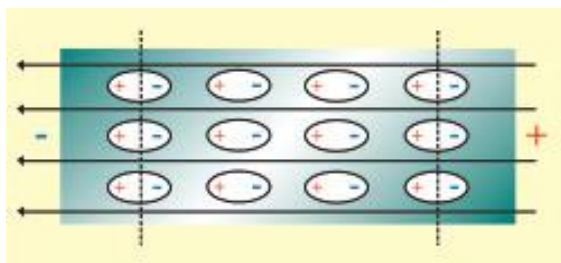
- Кај диелектриците со поларизирани молекули во нормална состојба, заради топлинското движење на молекулите, диполите се хаотично распоредени и тој е електронеутрален (Слика 28а)



Слика 28а: Диелектрик во нормални услови

Кога таков диелектрик ќе се внесе во електричното поле, диполите се ориентираат во правец на силовите линии, така што позитивните полови се ориентираат во насока на полето, а негативните во спротивна насока (Слика 28б).

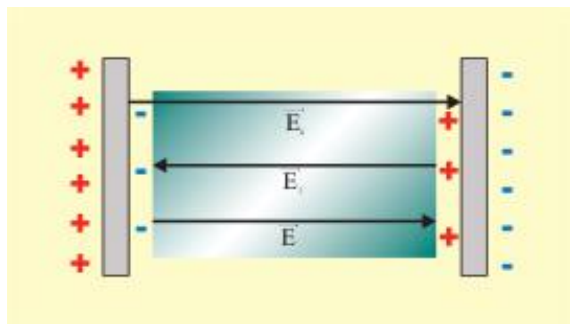
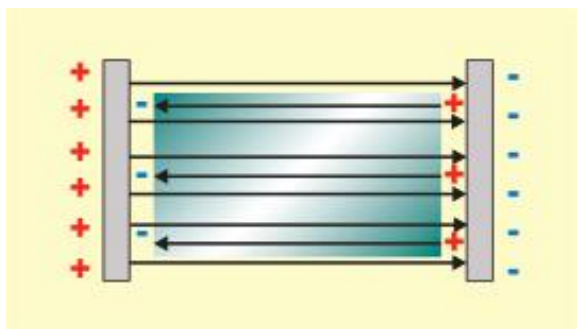
Дефиниција: Појавата на ориентирање на молекулите на диелектриците под дејство на надворешно електрично поле се вика поларизација на диелектриците.



Слика 28б: Диелектрик во електрично поле

Освен полнежите на надворешните површини од спротивните страни кои се разноимено наелектризираани, сите полнежи во внатрешноста на диелектрикот се меѓусебно компензирани. Тогаш во внатрешноста на диполот се создава дополнително електрично поле со насока спротивна на надворешното. Во случај кога диелектрикот се состои од неполаризирани молекули, тогаш под дејство на надворешното електрично поле, прво настанува создавање на диполи, а потоа настанува поларизацијата, која потешко се случува кај нив и затоа е потребно надворешното електрично поле да биде појако.

Резултантното електрично поле во диелектрикот ќе има насока на надворешното електрично поле (Слика 29)



Слика 29

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_1$$

$$E = E_0 - E_1$$

- јачина на надворешно електрично поле;

- јачина на електрично поле во диелектрикот;

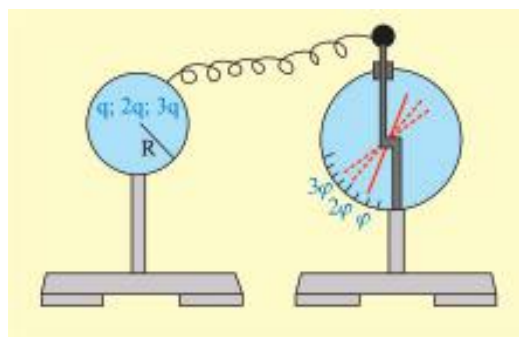
- резултантна јачина на електричното поле.

Да запомниме:

- За разлика од проводниците изоляторите во електричното поле се наелектризираат како од надворешната површина, така и во внатрешноста.
- Поларизацијата постои се додека постои надворешно електрично поле.

Електричен капацитет

Ако еден изолиран проводник, кој се наоѓа во вакуум се наелектризира, тогаш неговиот електричен потенцијал ќе расте пропорционално со количеството електричество донесено на него. При зголемување на количеството електричество за два пати, трипати итн се зголемува и неговиот потенцијал за исто толку пати (Слика 30)



Слика 30

Ако се направи однос меѓу донесеното количество електричество и соодветните потенцијали, се добива еден константен број (C)

Односот од количество електричество на даден проводник и неговиот потенцијал е

секогаш константен и се вика **електричен капацитет** (C).

$$C = \frac{q}{\varphi} \Rightarrow [C] = \frac{[q]}{[\varphi]} = 1 \frac{C}{V} = 1F \quad (\text{Фарад})$$

Имајќи предвид дека потенцијалот φ во секоја точка на наелектризиран проводник е еднаков на напонот меѓу неа и Земјата ($\varphi=U$), може да запишеме:

$$C = \frac{q}{U}$$

Во SI системот мерна единица за капацитет е **1F (фарад)**

1F (фарад) е многу голем капацитет, затоа во практиката се користат помали единици:

$$1\mu F \text{ (микрофарад)} = 10^{-6}F;$$

$$1nF \text{ (нанофарад)} = 10^{-9}F;$$

$$1pF \text{ (пикофарад)} = 10^{-12}F.$$

Дефиниција: Капацитет од еден фарад има проводник на кој донесено количество електричество од 1 кулон создава еквипотенцијална површина со потенцијал од еден волт.

Електричниот капацитет на проводникот зависи од големината и формата, како и од средината во која се наоѓа, а не зависи од природата на материјалот.

Од електричен потенцијал знаеме дека:

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R}$$

со замена во равенката за капацитет:

$$C = 4\pi\epsilon_0 R$$

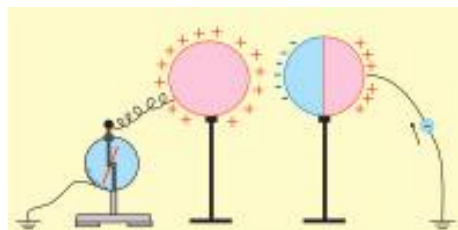
Размисли и одговори!

Кој проводник има поголем капацитет, ако двата проводника имаат ист радиус, од кои едниот е од бакар, а другиот од алуминиум?

Кондензатори

Капацитетот на еден осамен (изолиран) проводник е доста мал, меѓутоа, неговиот капацитет многу се менува ако во негова близина се наоѓа друг проводник.

Нека во близина на позитивно наелектризиран проводник A чиј потенцијал го покажува отклонот на стрелката на електрометарот (Слика 31), се приближи неутрален проводник B , стрелката ќе покаже помал потенцијал, иако количеството електричество не се променило, што може да се потврди ако го оддалечиме проводникот B , отклонот на стрелката ќе се врати во првобитната положба.



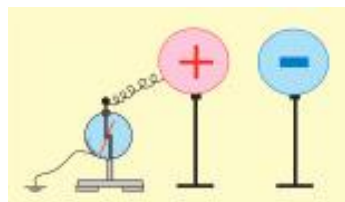
Слика 31

Причина за ваквата промена на потенцијалот е тоа што присуството на проводникот B , кој по пат на индукција се наелектризира, така што на поблиската страна до проводникот A се наелектризира негативно, на спротивната страна позитивно, што доведува до зголемена концентрација на површинската густина на проводникот A на таа страна што е поблиску до проводникот B .

За да го постигне првобитниот потенцијал, проводникот A треба да прими ново количество електрицитет што покажува дека му се зголемил капацитетот согласно со равенката:

$$C = \frac{q}{\varphi}$$

Ако позитивно наелектризираната страна на проводникот B се сврзе со Земјата за која е познато дека $\varphi=0$, електроните преку контактната жичка ќе дојдат до него и ќе го неутрализираат позитивното количество електричество со што тој станува само негативно наелектризиран кој уште повеќе ќе го намали потенцијалот на проводникот A , што значи, уште повеќе се зголемува неговиот капацитет.



Слика 32

На овој начин е добиен своевиден кондензатор.

Дефиниција: Систем од два проводника од кои едниот е наелектризиран, а другиот поврзан со Земјата претставува кондензатор.

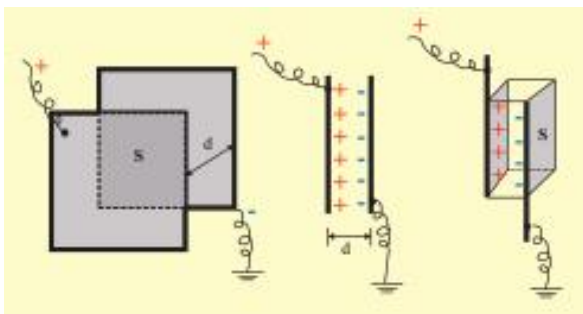
Видови кондензатори

Постојат повеќе видови кондензатори:

- плочест кондензатор;
- лајденска чаша;
- променлив кондензатор;
- блок-кондензатори и
- електролитски кондензатор.

Плочест кондензатор

Се состои од две метални плочи (облоги) со површина S , поставени на мало растојание d , меѓусебно изолирани и можат да имаат најразлична форма. Како изолатор може да се користи воздух или парафинска хартија.



Слика 33

Полнењето се врши така што едната облога се сврзува со електростатска машина, а другата со Земјата така што по пат на индукција таа ќе се наелектризира со спротивно количество електричество.

Капацитетот на плочестиот кондензатор зависи пропорционално од големината на површините кои се поклопуваат и образуваат хомогено електрично поле (активна површина) S , а обратно пропорционално од растојанието меѓу облогите d . Ако меѓу плочите како диелектрик има воздух, тогаш капацитетот ќе биде:

$$C_0 = \epsilon_0 \frac{S}{d}$$

Ако меѓу облогите има друг диелектрик, тогаш капацитетот на кондензаторот ќе се зголеми за толку пати колку изнесува диелектричната константа ϵ_r на диелектрикот:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d} = \epsilon \frac{S}{d}$$

каде:

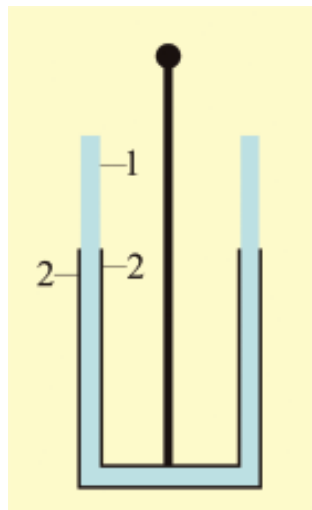
$$\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$$

Да запомине:

Секоја жица, плоча или метална топка во однос на Земјата претставува кондензатор.

Лајденска чаша

Се состои од една стаклена чаша која од внатре и од надвор има метални чаши најчесто од алуминиум, чија висина е помала за 1/3 од стаклената чаша за да не би дошло до прескокнување на електричеството меѓу нив. Полнењето се врши преку внатрешната облога (Слика 28). Нејзиниот капацитет се движи до $104mF$, а напонот меѓу облогите до $105V$.

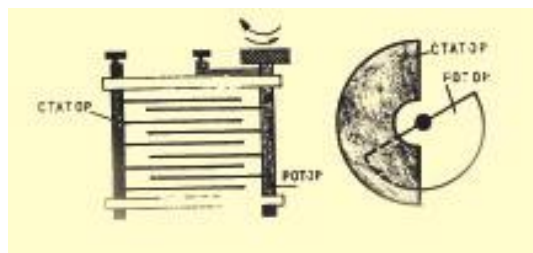


Слика 34: Лајденска чаша

Променлив кондензатор

Се употребува во радиотехниката. Се состои од два реда полукружни алуминиумски плочки,

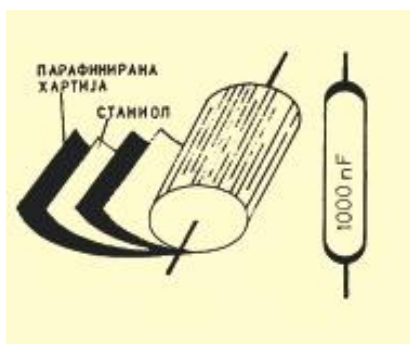
поставени паралелно, така да едниот систем е неподвижен, а другиот подвижен и е зацврстен на една оска со чие вртење плочките навлегуваат повеќе или помалку во меѓупросторот на неподвижните со што се менува и капацитетот (Слика 35а и б)



Сл. 35: Променлив кондензатор

Блок-кондензатор (хартиен)

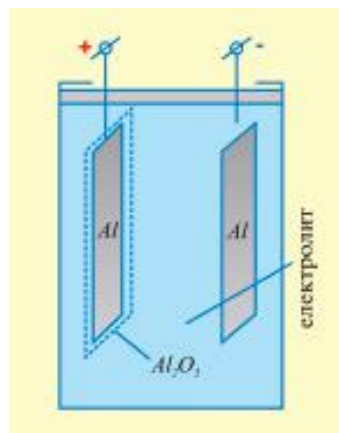
Хартиените кондензатори се прават така што од двете страни на тенка восочна хартија се поставени по една станиолска лента со помала ширина од хартиената. Од горната страна се покриени со хартиена лента. Сето тоа се намотува во ролна која е залиена со смола или лак (Слика 36). Од двете страни излегуваат жичките коишто ги поврзуваат за станиоловите ленти.



Слика 36: Блок (хартиен) кондензатор

Електролитски кондензатор

Се состои од две алуминиумски плочки, поставени во електролит (раствор од боракс и борна киселина во вода). Едната плочка е во директен допир со електролитот и служи како негативна облога на кондензаторот. Другата плочка е изолирана со тенок слој на алуминиум оксид кој служи како диелектрик. Оваа плочка служи како позитивна облога на кондензаторот. Овој кондензатор има капацитет до $100\mu F$ (Слика 37).



Слика 37: Електролитски кондензатор

Шематско претставување на кондензатори



Знак за кондензатори со постојан капацитет



Знак за кондензатори со променлив капацитет



Знак за електролитен кондензатор



Слика 38: Видови на кондензатори

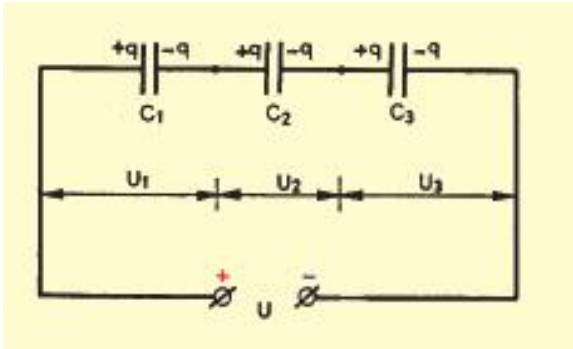
Сврзување на кондензатори

Ако не располагаме со кондензатори со соодветен капацитет, се пристапува кон сврзување на повеќе кондензатори во кондензаторска батерија. Капацитетот на батеријата кој е екви-

валентен на вкупниот капацитет добиен од сврзувањето се вика еквивалентен капацитет (C_e).

Сериско сврзување

Ова сврзување се изведува така што втората облога од првиот се сврзува со првата облога на вториот кондензатор итн. Првата облога од првиот и последната облога од последниот кондензатор се сврзуваат за изворот на електрична струја (Слика 39).



Слика 39: Сериско врзување на кондензатори

Кога левата плоча од првиот кондензатор ќе се наелектризира со количество електричество $+q$, на десната по пат на инфлуенца ќе се појави количество електричество $-q$, на левата од вториот кондензатор $+q$ итн. Поради различниот капацитет на кондензаторите, напонот меѓу плочите на секој кондензатор ќе биде различен.

Вкупниот напон на батеријата ќе биде:

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

Согласно равенката за капацитет следува:

$$U_1 = \frac{Q}{C_1}; \quad U_2 = \frac{Q}{C_2}; \quad U_3 = \frac{Q}{C_3};$$

а за еквивалентниот капацитет важи:

$$U = \frac{Q}{C_e}$$

$$\frac{Q}{C_e} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3};$$

Еквивалентен капацитет на сериски врзани кондензатори се пресметува според равенката:

$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Реципрочната вредност на еквивалентниот капацитет е еднаква на збирот од реципрочните вредности на капацитетите на поединечните кондензатори во батеријата.

Односно:

$$\frac{1}{C_e} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$$

Сериското сврзување на кондензатори се користи за добивање на капацитет помал и од најмалиот капацитет од сврзаните кондензатори.

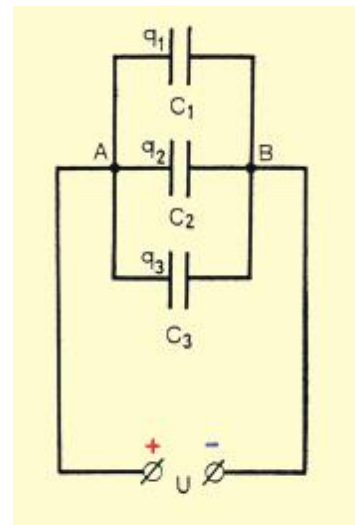
Пример:

$C_1 = 2 \mu F$; $C_2 = 4 \mu F$. Колку е еквивалентниот капацитет?

$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} \Rightarrow C_e = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{2 \cdot 4}{2 + 4} = 1,33 \mu F$$

Паралелно сврзување

Овој начин на сврзување се изведува така што по една облога со ист предзнак од секој кондензатор се поврзува во една заедничка точка, а другите облоги со спротивен предзнак во друга заедничка точка. Според тоа напонот е заеднички за сите кондензатори во батеријата. (Слика 40)



Слика 40: Паралелно врзување на кондензатори

Во зависност од капацитетот на кондензаторите во батеријата на нивните облоги ќе се наталожи соодветно количество електричество:

$$q_1 = C_1 U; q_2 = C_2 U; q_3 = C_3 U; q = CeU.$$

Согласно законот за запазување на количество електрични полнежи:

$$q = q_1 + q_2 + q_3$$

$$CeU = C_1 U + C_2 U + C_3 U.$$

Еквивалентниот капацитет на паралелно сврзани кондензатори е:

$$Ce = C_1 + C_2 + C_3$$

или:

$$Ce = \sum_{i=1}^n C_i$$

Капацитетот на батеријата од повеќе паралелно сврзани кондензатори претставува збир од капацитетите на поединечните кондензатори.

Овој начин на сврзување го користиме за добивање на голем капацитет.

Размисли и заклучи!

Согласно равенката за плочест кондензатор, објасни на што се должи разликата во еквивалентните капацитети на батеријата од исти кондензатори при паралелно и сериско сврзување.

Енергија на електрично поле

Познато е дека по пат на електростатска индукција настанува раздвојување на електричните полнежи на плочите кај плочест кондензатор. При тој процес, работата на изворот на електричен напон се претвора во потенцијална електрична енергија на кондензаторот. За да се определи таа енергија, потребно е да се определи работата што треба да се изврши за да се наелектризираат кондензаторските плочи со количество електричество q , односно $-q$.

Ако со U_p ја означиме почетната вредност на електричниот напон помеѓу плочите, јасно е дека $U_p = 0$ бидејќи и двете плочи се електро неутрални. Како ќе расте количеството електричество на една од плочите, така ќе расте и напонот меѓу плочите и кога тој ќе биде максимален, следува дека $U = U_m$. Бидејќи напонот постојано се менува во овие граници, неговата средна вредност ќе биде:

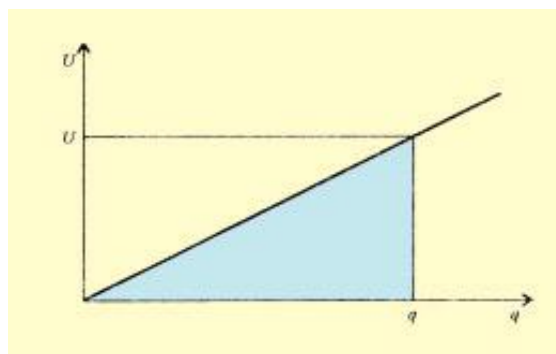
$$U_{sr} = \frac{U_p + U_m}{2} = \frac{0 + U_m}{2} = \frac{1}{2} U.$$

Од дефиниционата равенка е познато дека:

$$A = q \cdot U_{sr} \Rightarrow A = \frac{1}{2} q \cdot U.$$

Знаеме дека извршената работа се претвора во потенцијална електрична енергија на кондензаторот W_p ќе следува дека:

$$W_p = \frac{1}{2} q \cdot U$$



Слика 41 : Зависноста на електричниот напон од количеството електричество на кондензаторските плочи е дадена на графикот

Мерка за извршената работа е обоената површина на правоаголниот триаголник со катети q и U .

Користејќи ја равенката за капацитет $C = \frac{q}{U}$,

можеме да запишеме дека енергијата на електричното поле која е локализирана меѓу кондензаторските плочи ќе биде:

$$W_p = \frac{1}{2} C U^2$$

Дефиниција: Енергијата на електричното поле на полн кондензатор е пропорционална со полупроизводот на капацитетот на кондензаторот и квадратот на електричниот напон меѓу кондензаторските плочи.

Електрично поле

Да го провериме своето знаење

1. Две електрични силиви линии се сечат.

Да Не

2. Електричното поле има иста насока со електростатската сила која дејствува врз полнежот.

Да Не $W_p = \frac{1}{2} q \cdot U$

3. Како електронската теорија го објаснува наелектризирањето на телата?

4. Колку изнесува елементарното количество електричество?

5. На кој хемиски елемент јадрото содржи 8 протони и 8 неутрони?

а) Колкав е негативниот електрицитет во атомот?

б) Колкав е вкупниот електрицитет на тој елемент?

6. Како ќе се промени електростатската сила помеѓу два точкasti полнежи, ако секој од нив го зголемиме три пати, а растојанието меѓу нив го намалиме три пати?

7. Како гласи Кулоновиот закон и кои се ограничувањата на тој закон?

8. Во што е сличноста, а во што разликата на Кулоновиот закон во однос на Њутновиот закон за општа гравитација?

9. Објасни, како се определува насока на електрично поле!

10. Зошто работата на електричното поле не зависи од видот на патеката на електричниот полнеж?

11. Ако позитивен електричен полнеж се преместува во електрично поле од точка со поголем електричен потенцијал во точка со помал електричен потенцијал, во што се претвора работата на електричното поле?

11. Што се тоа изолатори, а што проводници?

12. што се екипотенцијални површини?

13. Дали со зголемувањето на количеството електричество на метална топка се зголемува и нејзиниот капацитет?

14. Од што зависи капацитетот на кондензаторот со рамни плочи, а од што кај топка?

15. Што се постигнува со паралелно, а што со сериско сврзување на кондензатори?

16. Кога хомогено електрично поле е појако: кога меѓу плочите на кондензаторот има диелектрик со поларизирани или со неполаризирани молекули?

Задачи за вежби

1. Пластична прачка протриена со волнена крпа се наелектризира со количество електричество од $-0,8\mu\text{C}$. Колку електрони од волнената крпа поминале на прачката?

Одговор:

2. Колкаво мора да биде растојанието меѓу две точкasti количества електричества: $q_1 = 26\mu\text{C}$ и $q_2 = -47\mu\text{C}$ за да дејствува помеѓу нив сила од $5,7\text{N}$? (Количествата електричество се наоѓаат во вакуум)

Одговор: $R=1,38\text{m}$

3. Колку кусок или вишок на електрони треба да има тело за да неговиот електричен полнеж изнесува 1C .

Одговор: $N = 6,25 \cdot 10^{18} e$

4. Најди го односот на интензитетите на електричните и гравитационите сили меѓу два електрона. Масата на електронот е $9,1 \cdot 10^{-31} \text{kg}$.

Одговор: $\frac{F_e}{F_g} = 41 \cdot 10^{37}$

5. Три еднакви по знак и големина точкasti електрични полнежи со $q=2 \cdot 10^{-9}\text{C}$ се наоѓаат на темињата на еден рамностран триаголник со страни $a=40\text{cm}$.

а) Колкава е резултантната електростатска сила што дејствува на секој полнеж?

б) Каков е правецот и насоката на резултантната електростатска сила?

в) Во кој правец и насока би се движеле полнежите кога би станале подвижни?

Одговор: а. $F_1 = F_2 = F_3 = 3,75 \cdot 10^{-8} \text{N}$;

б. Правецот на силата се поклопува со симетралите на аглиите, а насоката е од тежиштето.

в. Во правец и насока на соодветната резултантна сила.

6. Јачината на хомогено електрично поле $E=600\text{N/C}$. Со колкава сила полето дејствува на електрон и каква насока има оваа сила во однос на насоката на електричното поле ($e=1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$)?

Одговор: $F = 9,6 \cdot 10^{-17} \text{N}$

7. Ако јачината на електричното поле на површината на Земјата е $E=-130\text{N/C}$, колкав е електричниот полнеж на Земјата ако се знае дека нејзиниот радиус е $R=6370\text{km}$?

Одговор: $q=-586\text{kC}$

8. Метална топка со радиус $R=10\text{cm}$ е наелектризирана со количество електричество $q=50\text{nC}$. Колкав е потенцијалот на оваа топка кога таа е во воздух и кога е во масло?

Одговор: $\varphi = 4,5\text{kV}$; $\varphi = 2,25\text{kV}$

9. Колку работа треба да се изврши за да количество електричество $q=50\text{mC}$ се доведе од бесконечност во некоја точка од полето чиј потенцијал е 1V ?

Одговор: $A=0,05\text{J}$

10. Плочест кондензатор има капацитет од $1,3\text{pF}$ кога меѓу плочите има воздух. Ако го зголемиме растојанието меѓу плочите два пати и како диелектрик ставиме восочна плоча, капацитетот ќе биде $2,6\text{pF}$. Колку е релативната диелектрична константа на восокот?

Одговор:

$\epsilon_r = 4$

$N = 5 \cdot 10^{12} e$

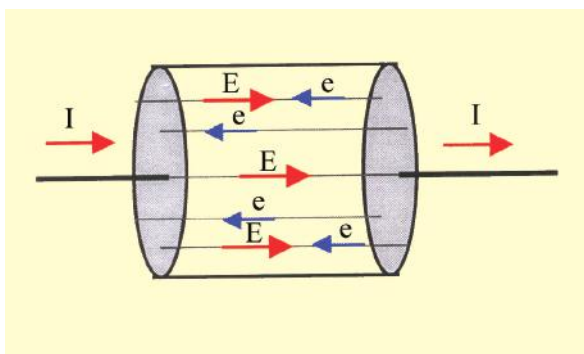
2. Електрична струја

Основни поими за електрична струја

Дејство на хомогено електрично поле врз електрични полнежи

Дејство на хомогено електрично поле врз слободни електрони во метален проводник

Во една права бакарна жица, хомогена и цилиндрична (Слика 1) електричното поле \vec{E} е чувствително (строго) хомогено додека жицата е во затворен струен круг кој содржи извор на напон.



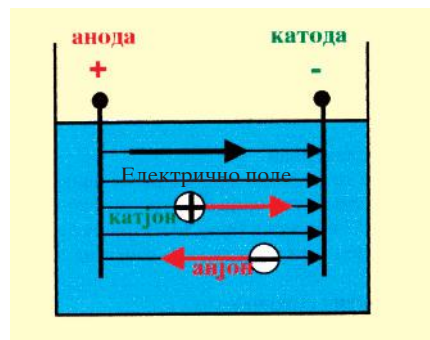
Слика 1: Во права бакарна жица, цилиндрична и хомогена, полето \vec{E} е хомогено и електроните e се поместуваат во спротивна насока од \vec{E}

Слободните електрони во металот тогаш се изложени на една сила \vec{F} која сега ќе ја наречеме **електрична сила** со ист правец како \vec{E} , но со спротивна насока.

Тоа заедничко движење на електрони под дејство на електрична сила \vec{F} создава *електрична струја* со **јачина** I која тече во спротивна насока од онаа на движењето на слободните електрични полнежи.

Катјони и анјони во хомогено поле

На Слика 2 е претставена електролитна ќелија. Ако електродите се две паралелни метални плочи тие меѓу себе создаваат поле \vec{E} кое е чувствително (строго) хомогено.

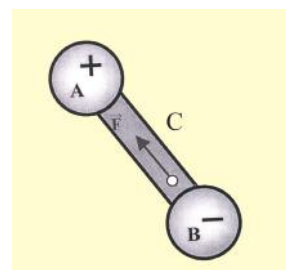


Слика 2: Дејство на хомогено поле врз катјони и анјони содржани во сад со електролит на електролитна када (растворот може да содржи воден раствор на хлороводородна киселина, натриум хидроксид, натриум хлорид ...)

Тогаш *анјоните* и *катјоните* се изложени на дејство на сили од електростатски вид. Силите се во насока на електричното поле \vec{E} за катјоните и во спротивна насока за анјоните и ги поместуваат кон катодата за случај на катјоните и кон анодата за случај на анјоните.

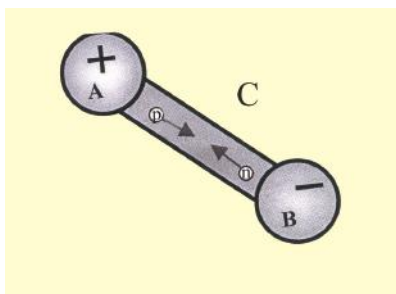
Движење на електричните полнежи

Нека имаме два проводника, еден A позитивно наелектризиран и втор B негативно наелектризиран. Да ги поврземе со трет метален проводник C кој не е наелектризиран но кој има во себе, (затоа што е проводник), слободни електрони (Слика 3).



Слика 3: Движење на електрони

Од една страна, електроните во проводникот C , одбивани од негативниот B и привлекувани од позитивниот A , почнуваат да се поместуваат во насока на стрелката. Позитивниот полнеж на A ќе биде прогресивно компензиран и конечната состојба на трите тела ќе биде една состојба при која сите полнежи ќе останат неподвижни. Движењето на електроните кое штотуку го опишавме ја сочинува *електричната струја* чие што траење е многу кратко (многу мал дел од секунда).



Слика 4: Движење на позитивни (p) и негативни (n) носители

Да претпоставиме сега дека проводникот содржи во исто време електрони како подвижни носители на негативно количество електричество (n) и подвижни позитивни полнежи (p) (Слика 4). Негативните носители на електрични полнежи (n) ќе се упатат кон A , позитивните носители на електрични полнежи (p) ќе се упатат кон B . Електричната струја, во овој случај, ќе се состои од две движења на електрични полнежи во насоки спротивни една на друга.

Забелешка: Насоката на движење на носителите на негативно количество електричество (на пр, електрони), е спротивна од *техничката* насока на електричната струја.

Дефиниција: *Електричната струја* е поместување на мноштво носители на електрични полнежи.

Заклучок:

- Во металите носители се *електрони*.
- Во течностите носители се *јони*: позитивни и негативни.

Забелешка: Брзината на поместување на електроните во металите (бакар на пример) е многу мала: околу $0,3 \frac{mm}{s}$, или едвај

30 метри на ден. Инаку, електроните се носители на елементарно количество електричество кое изнесува $1,6 \cdot 10^{-16} C$.

Извори на струја. Електричен струен круг

Претходно разгледуваните струи се краткотрајни. Одржувањето на потенцијалната разлика на краевите од проводникот C е вториот услов за одржување на појавата на електрична струја.

Дефиниција: Уреди со чија помош може да се оствари постојана потенцијална разлика помеѓу двата проводника се нарекуваат *електрични извори*.

Секој извор на струја има два метални приклучоци, кои се нарекуваат *полови на изворот*. Полот со повисок потенцијал се нарекува *позитивен пол* на изворот, а другиот, оној што има понизок потенцијал, е *негативен пол*.

Физичка величина која практично ја определува способноста на изворот за одржување на потенцијалната разлика се вика *електромоторна сила (ЕМС)*.

Дефиниција: Електромоторната сила се мери со напонот меѓу половите на неоптоварен извор на струја, а е бројно еднаква со работата што треба да ја извршат надворешни неелектрични сили за пренесување на единичен електричен позитивен полнеж внатре во изворот во спротивна насока на воспоставеното електрично поле меѓу половите.

$$\varepsilon = \frac{A}{q} \Rightarrow$$

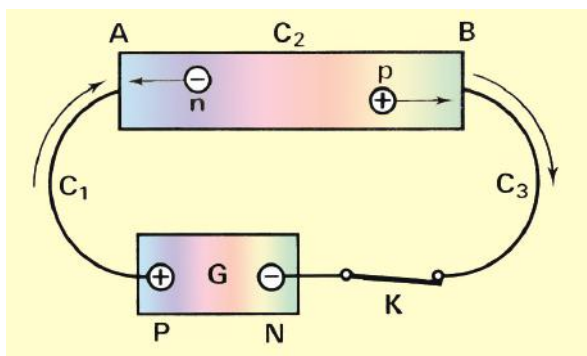
Ако работата ја изразиме во џули (J), а количеството електричество во кулони (C), електромоторната сила ќе ја добиеме во волти (V).

Електромоторната сила, всушност, ја претставува потенцијалната енергија што ја има единичен позитивен електричен полнеж сместен на позитивниот пол во однос на негативниот пол на изворот на струјата. Таа енергија изворот на струјата ја добива со трошење на различни други облици на енергија.

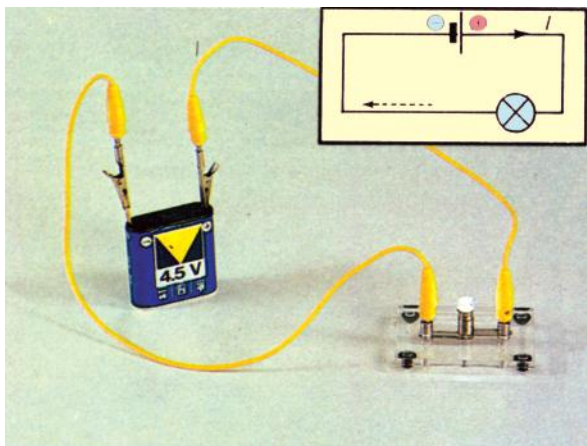
Вежба: Обиди се да ги посочиш облиците на енергија кои можат да бидат искористени и имињата на изворите што ги користат тие облици на енергија!

За да се добие трајна струја, ние ќе конструираме **електричен струен круг**.

Ако земеме електричен извор G (батерија или акумулатор), (Слика 5) со два пола, едниот P позитивно наелектризиран и другиот N наелектризиран негативно, кои се поврзани меѓу себе со синџир од проводници C_1, C_2, C_3 и прекинувач K , ќе добиеме систем во кој може да се одржува постојано движење на полнежи. Да претпоставиме дека проводникот C_2 содржи во исто време носители p и носители n тип додека C_1 и C_3 се само метални жици за поврзување.

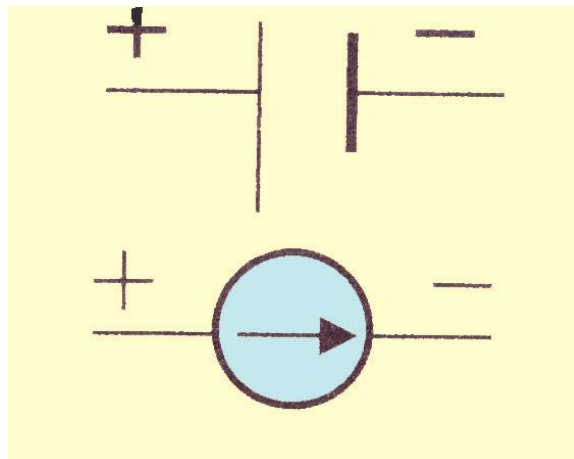


Слика 5: Електричен струен круг



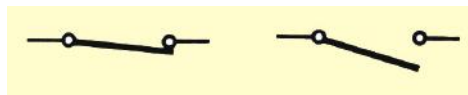
Слика 6. Конкретна изведба и шематски приказ на струен круг. Стрелката ја покажува насоката на струјата: струјата е насочена од + кон - пол на изворот.

Значи, струјниот круг е систем составен од **извор на струја** (Слика 7), електрична направа која троши електрична енергија, т.н. **потрошувач** (светилка, електромагнет, електромотор, електролитна ќелија итн.) и **жици** со кои ги сврзуваме изворот и потрошувачот (Слика 6).



Слика 7: Симболи за хемиски електрични извори (батерија или акумулатор)

Струјниот круг е **затворен** ако никаде во кругот нема прекин за поминување на електроните од негативниот до позитивниот пол преку потрошувачот. Ако некаде постои прекин, велиме дека струјниот круг е **отворен**. За затварање и отварање на струјните кругови служат разни видови **прекинувачи** или **склојки** K (Слика 8).



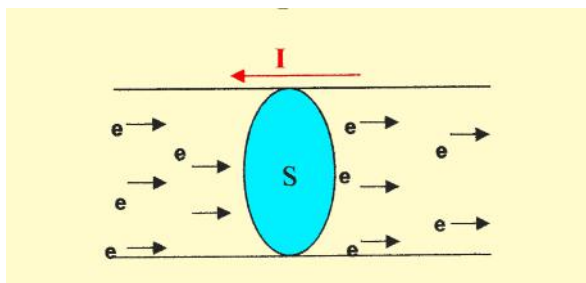
Слика 8: Симболи за затворен и отворен струен круг

Во тек на една секунда низ струјниот круг може да поминува поголемо или помало количество електричество, заради што велиме дека во струјниот круг тече **послаба** или **појака** електрична струја.

Доколку во еднакви временски интервали низ струјниот круг поминуваат еднакви количества електричества, струјата се нарекува **посиојана** и ако посоодветен е терминот **константна**.

Јачина на електрична струја

Квантитативна карактеристика на појавата на електрична струја се нарекува **јачина на електрична струја**. За почеток јачината на струјата ќе ја карактеризираме со електрични полнежи на носителите кои поминуваат низ даден напречен пресек S на проводник (Слика 9). Секој носител на електричен полнеж се поместува “влечејќи” со себе точно определено количество електричество.



Слика 9: Напречен пресек на проводник низ кој протекува права постојана струја

Дефиниција: Јачината на струјата е бројно еднаква на количество електричество кое минува низ даден напречен пресек на проводникот во тек на единица време.

Од оваа дефиниција произлегува релацијата:

$$I = \frac{Q}{t} \Rightarrow$$

Ако количеството електричество го изразиме во кулони (C), а времето во секунди (s), тогаш јачината на струјата ќе ја добиеме во ампери (A).

Вежба:

Обиди се со зборови да опишеш јачина на струјата од еден ампер!

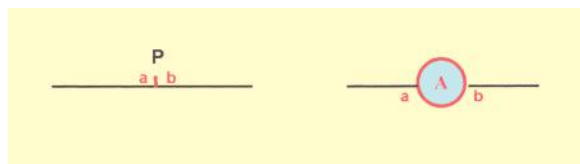
$$1A = 6,25 \cdot 10^{18} \text{ електрони во секунда}$$

Забелешка: Постојат и помали единици за јачина на електрична струја: $1mA = 10^{-3}A$; микроампер $1\mu A = 10^{-6}A$.

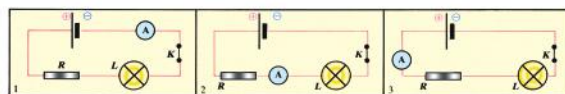
Забелешка: Имаме обичај да велíme постојана струја, мислејќи на струја која постојано тече во иста насока и чија јачина е константна. За таквата струја треба да велíme *константна струја со непроменлива насока*.

Многу важно: Јачината на струјата е иста низ целата должина на *проследен* струен круг или каде и да го прекинеме струјниот круг во единица време поминува еднаков број на полнежи.

Значи, за мерење на јачината на струјата можеме да го прекинеме кругот во било која точка P и добиените краеве a и b од прекинатата жица да ги поврземе за клемите на амперметарот (Слика 10).



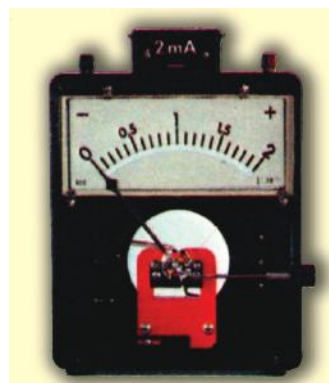
Слика 10: Поврзување на амперметар



Слика 11: Јачината на струјата што ја мери амперметарот не зависи од местото на неговото сврзување: во сите три случаи се измерени исти вредности на јачината на струјата

Амперметарот (Слика 12) ја мери јачината на струјата која минува низ струјниот круг. Значи, тој мора да биде поврзан во гранката чија јачина на струја ја мериме. Меѓутоа, никогаш не смее да се поврзе директно на извор на струја, бидејќи во тој случај би прегорел или би бил тешко оштетен.

Забелешка: Гранките се карактеристични елементи на сложен (разгранет) струен круг.



Магнетно-електричен амперметар



Мултиметар

Слика 12: Амперметри

Триџе ефекти на електрична струја

Топлински ефект. Во случај на прегорување на амперметарот доаѓа до израз топлинското дејство на електричната струја, како и во случај на светилките чии жички се вжаруваат. Поминувањето на струјата низ еден метален проводник е придружено со покачување на температурата и со ослободување на топлина во околината: тоа е *Дулов ефект*.

Хемиски ефект. Во електролитна када или ќелија за гасови при течење на струја се ослободуваат гасови на електродите: тоа е *хемиски ефект*.

Магнетен ефект. Намагнетизирана игла се отклонува и роторот на моторот се врти. Се работи за *магнетен* ефект.

Да запомнине:

- во проводни средини постојат слободни електрични полнежи: електрони и јони;
- слободните полнежи можат да вршат насочено движење под дејство на електрично поле;
- за да се одржи насоченото движење, потребна е поддршка од постојана потенцијална разлика;
- уреди кои ја обезбедуваат таа потенцијална разлика се извори на електромоторна сила;
- величина која ја карактеризира појавата на електрична струја е јачина на електрична струја која се мери со амперметар, а се изразува во ампери;
- појава на електрична струја е можна само во електричен струен круг, кој задолжително се состои од извор, потрошувач и проводници, а режимот на појава на струја се регулира со прекинувач;
- електричната струја во струјниот круг може да даде три основни ефекти: топлински, хемиски и магнетен.

Омов закон

Омов закон за дел од струен круг

Георг Симон Ом (1789 - 1854) (Слика 13) бил наставник во разни места во Германија. Законот што го носи неговото име го открил 1826 година. 1841 ја протолкувал бојата на тоновите во акустика, а од 1852 работел како професор на универзитетот во Минхен.

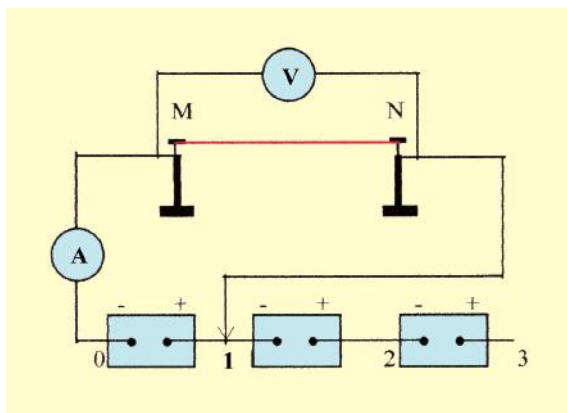


Слика 13: Георг Симон Ом (1787-1854)

Омовиот закон е решение на проблемот како врз јачината на струјата во некој проводник влијае напонот приклучен на неговите краеве и како на таа јачина влијае самиот проводник т.е. неговата должина, неговиот напречен пресек и природата на материјалот од кој е направен.

Обид: За утврдување на влијанието на напонот врз јачината на струјата ќе го искористиме уредот даден на сликата 14. Двете точки M и N се сврзани со некој извор на електрична струја (пр. акумулаторска батерија или на некој галвански елемент), така да меѓу нив имаме определен напон U . Напонот го мериме со *волтметар* V . Точките M и N ги сврзуваме со жица од константан или кантал. Јачината на струјата ја мериме со амперметар A . Напонот меѓу M и N го менуваме со вклучување на различен број акумулаторски ќелии. Мерејќи го напонот по вклучување на секоја нова акумулаторска ќелија кој се удвојува, утројува итн. ќе видиме дека и јачината на струјата двојно, тројно итн. се зголемува.

Заклучок: Јачината на струјата зависи пропорционално од напонот донесен на краевите од жицата.



Слика 14: Со вклучување на различен број на извори се утврдува зависноста на јачината на струјата од напонот

Со тоа ја определевме зависноста на јачината на струјата од напонот. Меѓутоа, струјата зависи и од карактеристиките на проводникот што е вклучен помеѓу точките M и N .

Обид: Повторно го користиме уредот даден на сликата 14. Сега бројот на акумулаторите го оставаме непроменет, односно напонот го држиме константен, а ја менуваме должината на жицата меѓу M и N . Дебелината на жицата и материјалот сега засега нема да ги менуваме. Ќе видиме дека со двојно, тројно итн. зголемување на должината, јачината на струјата, двојно, тројно итн. се намалува во однос на почетната вредност.

Вежба: Заклучокот за зависноста на јачината на струјата од должината на жицата е сосема јасен. Формулирај го тоа сам!

Преку ова сознание се јавува потреба за воведување на поимот **електричен отпор**, за да кажеме дека жица со поголема должина и создава на струјата поголем отпор од покусата.

Заклучок: Јачината на струјата во некој проводник е обратнопропорционална од отпорот на проводникот.

Ако отпорот на проводникот го означиме со R , напонот помеѓу краевите на проводникот е U , а јачината на струјата низ жицата со I , резултатите можеме да ги изразиме со равенката:

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

Вежба: Прочитај ја зависноста на јачината на струјата од напонот и од отпорот на проводникот!

Тој закон се нарекува **Омов закон**. Законот можеме да го напишеме на уште два начина:

$$U = I \cdot R ;$$

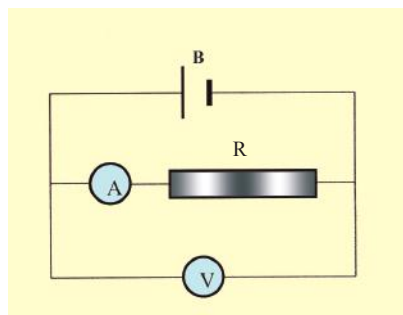
\Rightarrow

Првиот израз служи за пресметување на потенцијалната разлика, напонот U што постои помеѓу краевите на проводникот со отпор R кога низ него протекува струја со јачина I . Напонот што го има меѓу краевите на проводникот често се нарекува **пад на напон** по должина на проводникот.

Дефиниција: Падот на напонот се мери со загубите на енергија на единичен полнеж при поминување на струјата од едниот до другиот крај на проводникот. За проводник на кој загубите на енергија се еден џул во тек на една секунда при поминување на струја со јачина од еден ампер, велиме дека отпорот му изнесува еден ом.

Вториот израз служи за експериментално определување со пресметување на отпор на проводникот. Напонот што го отчитуваме на волтметарот *паралелно* сврзан со проводникот го делиме со јачината на струјата, отчитан на амперметарот кој е *сериски* сврзан со проводникот.

Вежба: Горезапишаните формули изразете ги со зборови! За кој проводник велиме дека има отпор од еден ом?



Слика 15: Вакво врзување на амперметарот овозможува да се отчита вистинската вредност на јачината на струјата што поминува низ потрошувачот

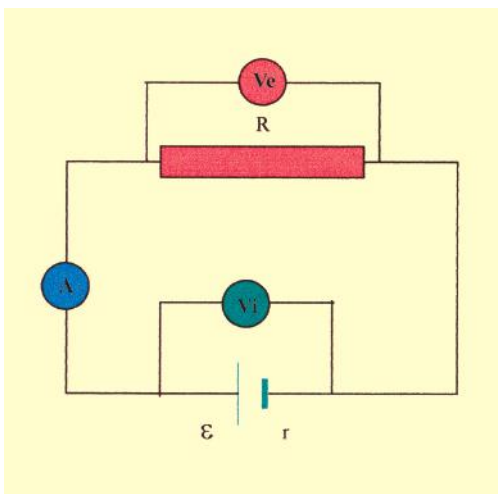
Забелешка: Пресметување на отпор со делење на вредностите на напонот и јачината на струјата отчитани според шемата на сликата 15, не е сосема корект-

но, бидејќи низ проводникот не тече целата струја што ја покажува амперметарот. Еден дел од струјата минува низ волтметарот. Меѓутоа, волтметарот е уред чиј внатрешен отпор е многу голем и многу мал дел од струјата минува низ волтметарот. Под вакви услови таа струја се занемарува така да методата е сосема коректна при определување на отпори кои се многу помали од отпорот на волтметарот. При мерење на отпори кои се приближуваат до отпорот на волтметарот, методата дава неточни резултати и затоа мерењата се вршат според шемата дадена на сликата 15.

Омов закон за цел струен круг

Според овој закон се определува јачината на струјата во простиот струен круг сврзан според шемата на слика 16. Притоа, волтметрите V_i и V_e ги мерат U_i и U_e таканаречените **внатрешен и надворешен пад на напон** кои се мерки за загуба на енергија на полнежите при нивно насочено движење низ т. н. **внатрешен дел** на струјниот круг (електричниот извор кој се карактеризира со внатрешен отпор r и ЕМС ε) и при нивно насочено движење низ **надворешниот дел** на струјниот круг (потрошувачот кој се карактеризира со отпор R). Загубите се надополнувани со енергијата што во електрична се претвара за сметка на другите облици на енергија во изворот на електрична струја.

$$\xi \equiv \frac{U_i \varepsilon + U_e}{r + R}$$



Слика 16: Црвениот волтметар го мери надворешниот пад на напонот, а зелениот внатрешниот пад на напонот

Согласно со **општиот закон за запазување на енергијата** ја запишуваме формулата:

$$\varepsilon = U_i + U_e$$

Со користење на формулите за падовите на напони $U_i = I \cdot r$ и $U_e = I \cdot R$ и претходната формула, се добива формулата со која се определува јачината на струјата во струен круг во зависност од својствата на основните елементи на струјниот круг: електричниот извор и потрошувачот.

$$I = \frac{\varepsilon}{r + R}$$

Вежба: Обидете се со зборови да ја изразите зависноста на јачината на струјата во струјниот круг.

Малку теорија и математика!

$$\begin{aligned} \varepsilon &= I \cdot r + I \cdot R \\ \varepsilon &= I(r + R) \end{aligned}$$

Забелешка: Законот се применува кога сакаме да ја предвидиме, односно теориски пресметаме јачината на струјата, ако ги знаеме карактеристиките на елементите во струјниот круг.

Вежба: Објаснете, како со отчитување на вредностите на падовите на напоните на волтметрите и јачината на струјата отчитана на амперметарот маже да се примени законот во обратна насока и да се определат карактеристичните величини на елементите во струјниот круг.

Да запомниме:

- Омовиот закон е експериментален закон;
- Законот ја дава зависноста меѓу јачината на струјата, напонот и електричниот отпор;
- Електричниот отпор е карактеристика на проводниците што се вклучени во кругот и зависи правопрпорционално од нивната должина;
- Падот на напонот ги карактеризира загубите на електричната струја при про-

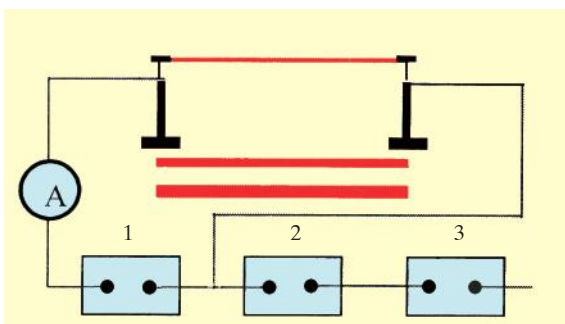
текување на струјата во тој дел од струјниот круг;

- Проверка на законот се врши со пресметка од отчитаните вредности на сервиски сврзаниот волтметар и паралелно сврзаниот волтметар;
- За определување на јачина на струјата за целото просто струен круг се користи Омов закон за цело струјно коло;
- За теориска пресметка треба да се знаат карактеристиките на сите елементи од струјниот круг или отчитаните вредности на вклучените мерни инструменти да се искористат за определување на карактеристиките на елементите од струјниот круг.

Електричен отпор

Зависноста на отпорот од карактеристиките на проводникот

Обид: Во претходниот наслов видовме дека отпорот на проводникот зависи од должината на проводникот. Сега ќе разгледаме од што уште зависи отпорот на проводникот, користејќи ги можностите на веќе опишаниот уред на слика 14 од претходниот наслов.



Слика 17: Три жици имаат плоштини на напречен пресек кои се однесуваат како 1:2:3

За таа цел ќе земеме три жици со иста должина и од ист материјал, но со различен напречен пресек. Пресекот на втората жица е двапати поголем од оној на првата, а пресекот на третата жица трипати. При мерењето ќе видиме дека, ако напонот го држиме константен, јачината на струјата ќе се зголеми двапати за случај на втори-

от, а трипати за случај на третиот проводник.

Вежба: Обиди се сам да го формулираш заклучокот за зависност од отпорот од големината на напречниот пресек на проводникот!

Агол за неснаодливите! Отпорот на еднакво долгите жици од ист материјал зависи обратно пропорционално со плоштината на напречниот пресек.

Математички додаток! Напречниот пресек за жица со кружен напречен пресек се пресметува според формулата

Ако земеме три жици со еднаква должина и еднаква плоштина на напречен пресек, но од различен материјал (пр. бакар, константан и железо), ќе добиеме измерени вредности на јачината на струјата најголема за бакар, а најмала за кантал.

Заклучок: Електричниот отпор на проводникот зависи од природата на материјалот чие што влијание во законите се претставува преку величината наречена **специфичен електричен отпор**.

Врз основа на резултатите од мерењата е формулиран **Омов закон за електричен отпор:**

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Важба: Изрази го со зборови законот за електричен отпор! Обиди се да дефинираш специфичен електричен отпор, ако не успееш, искористи го аголот за неснаодливите!

Агол за неснаодливите! Електричниот отпор на проводник со должина l и плоштина на напречен пресек S направен од даден материјал со специфичен електричен отпор ρ зависи право пропорционално од должината на проводникот и обратно пропорционално од плоштината на напречниот пресек.

Специфичниот електричен отпор на проводникот е бројно еднаков со отпорот на жица долга еден метар и површина на напречен пресек од еден метар квадратен.

⇒

Бидејќи $1\text{m}^2=10^6\text{mm}^2$, отпорот на жицата со напречен пресек 1mm^2 е милион пати поголем на онаа што би била со плоштина на напречен пресек 1m^2 . Затоа во табелата внесените вредности на специфичен електричен отпор се милион пати поголеми од вредностите изразени во единицата според SI-систем. Вредностите се за температура од 20°C .

Табела 1

Супстанција	Спец. ел. отпор	Супстанција	Спец. ел. отпор
Сребро	0, 0164	Никелин (54Cu, 26Ni, 20Zn)	0, 42
Бакар	0, 0175	Манганин (86Cu, 12Ni, 2Mn)	0, 43
Алуминиум	0, 029	Константан (54Cu, 45Ni, 1Mn)	0, 50
Железо	0, 098	Хромникел (20Cr, 80Ni)	1, 1
Челик	0, 1 - 0, 2	Кантал А (Fe, Cr, Al, Co)	1, 45
Жива	0, 958	30% H_2SO_4 + 70% H_2O	13 000
Ретортен јаглен	Околу 100	Силит (Si + SiC)	Околу 108

Важно за практиката! Материјалите со мал специфичен отпор се употребуваат за електрични проводници (пр. бакар, алуминиум), за навивики на електромагнети, генератори, мотори и трансформатори (пр. бакар). Материјалите со голем специфичен отпор се употребуваат за електротоплински направи (грејачи), (пр: кантал и хромникел) и за електрични отпори (пр. никелин, манганин и константан).

Дефиниција: Реципрочната вредност на електричниот отпор се нарекува **електрична спроводливост** G :

$$\Rightarrow \quad \cdot$$

Ако електричниот отпор го изразиме во оми (Ω), специфичниот електричен отпор се добива во сименси (S).

Дефиниција: Реципрочната вредност на специфичниот електричен отпор се нарекува **специфична електрична проводливост** или покусо **спроводливост**.

Вежба: Напиши ги изразите кои следат од оваа дефиниција!

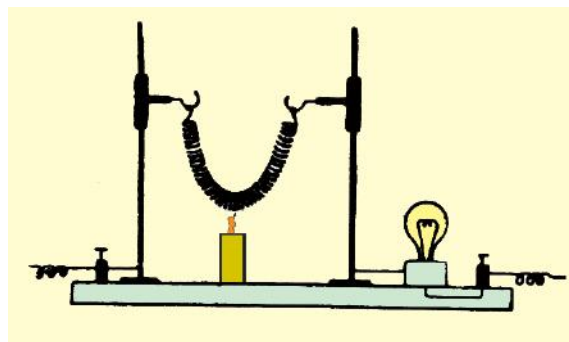
Агол за неснаодливите!

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \Rightarrow \quad \cdot$$

Зависноста на отпорот од температурата

Обид: Во струен круг сврзуваме светилка во серија со спирално извиткана тенка железна жица (Слика 18). Должината на жицата ја избираме така да светилката свети послабо отколку кога директно е сврзана на изворот. Спиралата ја загреваме со свеќа. Забележуваме дека интензитетот на светењето на светилката се намалува.

Вежба: Што можеме да заклучиме? Како зависи електричниот отпор од температурата?



Слика 18: Степенот на загреаност на жицата влијае на јачината на струјата

Зависноста на отпорот на проводникот од температурата се карактеризира со физичката величина која ја нарекуваме **температурен коефициент на електричен отпор**. Вообичаено го означуваме со α , а бројно го изедначуваме со порастот на отпорот на проводникот кој на 0°C има отпор од еден ом, при пораст на температурата за еден степен целзиусов.

$$R = R_0(1 + \alpha \cdot t),$$

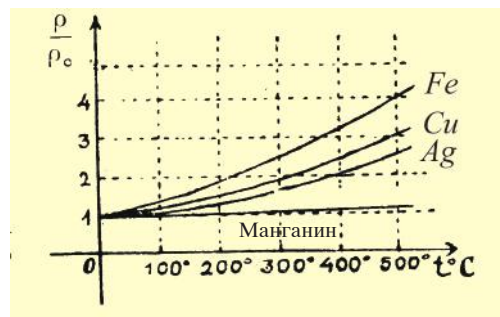
или

$$\alpha = \frac{\Delta R}{R_0},$$

ако

$$\text{и } t=1^\circ\text{C}$$

Ако отпорот го изразиме во оми (Ω), а температурата во степени целзиусови ($^\circ\text{C}$), температурниот коефициент на отпорот се изразува во реципрочни степени целзиусови ($^\circ\text{C}^{-1}$).



Слика 19: На графикот се дадени релативните промени на специфичниот електричен отпор на жиците во однос на специфичниот отпор на 0°C во зависност од Целзиусова температура

Во Табела 2 дадени се температурните коефициенти на некои проводни супстанции.

Табела 2:

Супстанција	Температурен коефициент
Бакар	+ 0, 0039
Алуминиум	+ 0, 0037
Железо	+ 0, 0045
Манганин	+ 0, 00001
Ретортен јаглен	- 0, 0005
30% H_2SO_4	-0, 02

Вежба: Какви заклучоци можеш да извлечеш од табелата? Како ги толкуваш различните предзнаци на вредностите во табелата?

Графиците на зависност на електричен отпор од температурата се дадени на сликата 19.

Вежба: Во што би се разликувале графициите на бакар и железо, а во што на манганин?

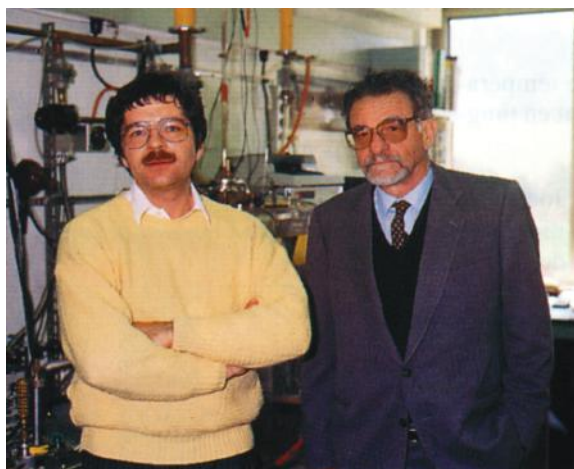
Фактот на зависноста на отпорот од температурата се користи во постапките за мерење на температура при конструкција на термометрите.

Суперпроводносii

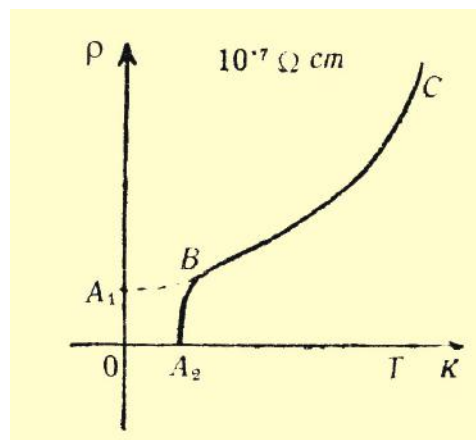
Камерлинг Онес (Слика 20а) 1911 год. открил дека при температура во близина на апсолутна нула отпорот на некои супстанции нагло и потопно исчезнува (Слика 21).



Слика 20а: Хајке Камерлинг - Онес (1853 - 1926)



Слика 20б: Георг Беднар и Алекс Милер, добитници на Нобелова награда за физика 1987 год.



Слика 21: За обичните проводници кривата на зависност на отпорот би била A_1BC , но за суперпроводниците таа е A_2BC

Вака оладениот проводник кој нема електричен отпор се вика *суперпроводник*, а самата појава *суперпроводливост*. Температурата на која проводникот го губи електричниот отпор се нарекува **критична температура**, . Таа температура се спушта до -269°C . Денешните суперпроводни материјали имаат значително повисока критична температура.

Вежба: Претвори ја оваа температура во апсолутна.

Во суперпроводни струјни кругови заради значајно намалениот отпор ($10^{-26}\Omega m$) времето на придрушување на создадените струи по пат на електромагнетна индукција не е помало од 100.000 години.

Во проводници под критичната температура не постои магнетно поле: силовите линии наполно се истиснати од проводникот, но во многу јаки електрични полиња проводниците ги губат суперпроводните својства.

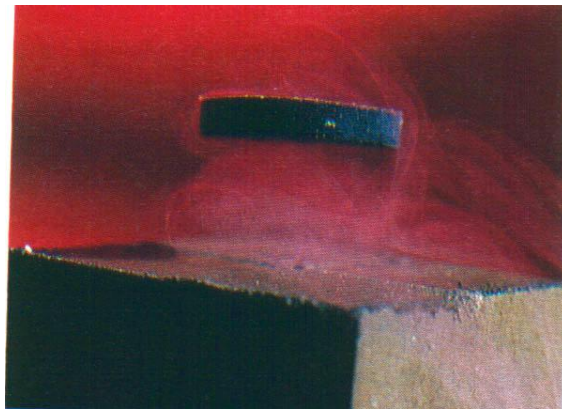
Во поново време откриени се повеќе материјали со својство на висока точка на суперпроводливост. Овој феномен е набљудуван на температура од само -33°C во лабораториите на Универзитетот во Детроит, САД. Суперпроводливоста привлекува големо внимание и се уште е еднакво интересна за проучување, а во доближување на научната мисла до вистината за суперпроводност е вклучена квантната теорија. Суперпроводливоста е всушност квантно-механичка појава.

Вежба: Размисли добро, која би била основната причина, заради која суперпроводливоста е толку важна!

Агол за неснаодливите: При суперпроводливост течат струи без потрошувачка на енергија.

Вежба: Ако отпорот е еднаков на нула, каква е јачината на струјата во еден струен круг на суперпроводници?

Јаките струи што можат да се добијат во услови на суперпроводливост се користат за добивање на јаки магнетни полиња во големи електромагнети со мала тежина заради отсуството на железните јадра (Слика 22). Новите проекти кои се основаат на суперпроводливост отвараат широко поле на можности во најмалку две области: воз на магнетни перничувања (Слика 23) и ултра-брзи компјутери.



Слика 22: Парче суперпроводен метал лебди во воздух



Слика 23: Јапонски воз. Во проект брзината на возот изнесува 400km/h

Отсуството на електричниот отпор овозможува електромагнетот да работи долго време без ефекти на Џулова топлина. Магнетните полиња со огромна моќ, пак, се применуваат во постројки за термојадрена синтеза, магнетно хидродинамични генератори, забрзувачи на елементарни честички и др.

Да запомниме:

- Електричниот отпор е величина која ги карактеризира проводните средини;
- Електричниот отпор на металните проводници зависи од природата на материјалот, должината и напречниот пресек на проводникот;
- Специфичниот електричен отпор ја карактеризира природата на проводниот материјал;

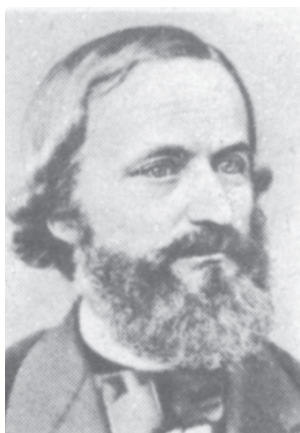
- Електричниот отпор зависи од температурата на која се наоѓа;
- За определена температура, карактеристична за секој материјал, отпорот исчезнува;
- Температурата на која се случува појавата се нарекува критична температура, а појавата се нарекува суперпроводливост.

Разгранет струен круг. Кирхофови правила

За определување на врската помеѓу електромоторните сили, јачината на струјата и отпорите во хомоген или хетероген струен круг составено од неразгранети проводници го користиме **Омовиот закон**.

Меѓутоа, често е потребно струјниот круг да се разграни во два или повеќе проводника со различни отпори така да во една точка се соединуваат три или повеќе проводника. Таквиот струен круг го нарекуваме *разгранет струен круг* или *мрежа*. Точките во кои проводниците се меѓусебно поврзани ги нарекуваме *точки на разгранување* или *јазли*, а дел од струјниот круг помеѓу две јазелни точки го нарекуваме *гранка*. Дел од разгранетиот струен круг составен од две или повеќе гранки се нарекува *конјура*.

Законот што важи за јачината на струјата, електромоторната сила и отпорот во вакви сложени случаи го утврдил германскиот физичар Густаф Кирхоф (Слика 24) 1847 година и го нарекуваме **Кирхофово правило**.

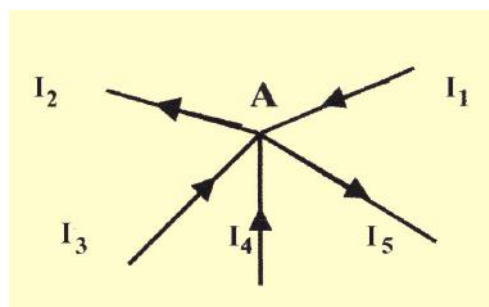


Слика 24: Густав Кирхоф (1824 - 1887)

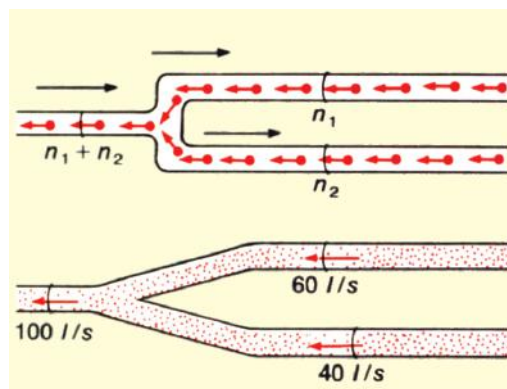
Прво Кирхофово правило

Во основа на **првото Кирхофово правило** лежи законот за запазување на количество електричество, односно фактот дека количеството електричество не може да се натрупува, ниту пак губи, во било кој дел од струјниот круг, како во поедини гранки така и во јазелните точки. Тоа значи дека количеството електричество ΔQ_+ кое влегува во еден јазол во разгранет струен круг е еднаково на количеството електричество ΔQ_- кое од него истекува (излегува). Низ дадениот јазел количеството електричество само поминува.

$$\Delta Q_+ = \Delta Q_-$$



Слика 25а: Во јазолната точка А количеството електричество не се натрупува, ниту пак од неа извира: низ неа тоа само поминува



Слика 25б: Електронска интерпретација на струјниот ток е аналогна на течниот ток

Нека во јазелната точка А (Слика 25а) се сврзани пет проводника при што електричните струи со јачина I_1 , I_3 и I_4 влегуваат во јазелот, а I_2 и I_5 излегуваат од јазелот. Согласно со **законот за запазување на количество електричество** произлегува дека збирот на јачините на струите кои втекуваат во јазелната точка, мора да биде

еднаков на збирот на јачините на струите кои истекуваат од јазелната точка. Значи може да се запише:

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

Ако струите кои втекуваат ги земеме со позитивен предзнак, а оние што истекуваат со негативен предзнак, равенката добива нов облик:

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

или пократко:

$$\sum_{i=1}^5 I_i = 0.$$

Законот можеме да го обопштиме и за n проводници:

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

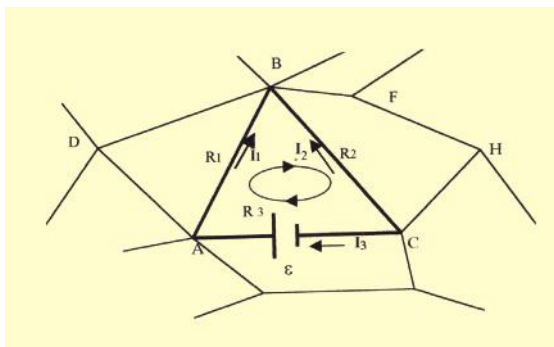
Равенката го претставува **првото Кирхофово правило**. Правилото се однесува на јазелните точки и гласи:

Дефиниција: Алгебарскиот збир на јачините на струите што минуваат низ дадена јазелна точка е еднаков на нула.

Второ Кирхофово правило

Второто Кирхофово правило е обопштување на Омовиот закон за прост струен круг и се однесува на *контури*.

Во разгранет струен круг или мрежа разгледуваме една *затворена контура ABC* (Слика 26) и ќе побараме однос помеѓу јачините на струјата, електромоторните сили и отпорите за оваа контура.



Слика 26: Од разгранетиот струен круг ја издвојуваме контурата ABC во чиј состав влегуваат јазелните точки A , B и C и гранките AB , BC и CA

Да претпоставиме дека струјата во оваа контура тече во насока на стрелките. Да ги означиме со V_A , V_B и V_C потенцијалите во јазелните точки A , B и C , а со I_1 , I_2 и I_3 јачините на струите во гранките AB , BC и CA , а со R_1 , R_2 и R_3 соодветните отпори во тие гранки. Нека во гранката AC се наоѓа некој извор на струја ε . За овие три гранки можеме да ги запишеме следниве равенки:

$$\text{за гранка } AB: V_A - V_B = I_1 R_1;$$

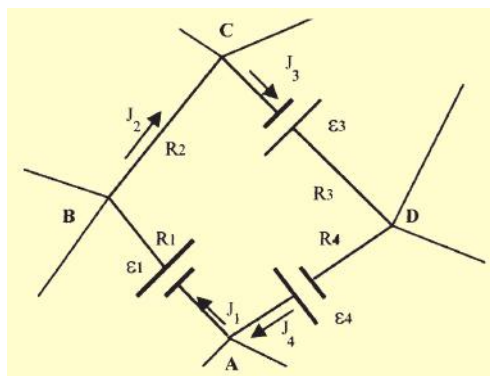
$$\text{за гранка } BC: V_B - V_C = I_2 R_2;$$

$$\text{за гранка } CA: V_C - V_A + \varepsilon = I_3 R_3.$$

При собирање на потенцијалните разлики за целокупната затворена контура ABC , потенцијалите ќе се поништат и ќе добиеме:

$$\varepsilon = I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3.$$

Од равенката гледаме дека *електромоторната сила* во една затворена контура е еднаква на збирот од *падовите на напон* во поединечните гранки. Секако дека овој заклучок важи и за произволен број на гранки, бидејќи со собирање ќе се поништат потенцијалите во секоја произволна затворена контура, па и во контурата $ADBFGCA$.



Слика 27: Контурата $ABCD$ во себе содржи негативни електромоторни сили

Вежба: Запиши ги постапно сите равенки за контурата $ABCD$ (Слика 27) и формулирај го законот (за струи што течат во спротивна насока од насоката што ја покажуваат стрелките земи негативен предзнак, а точките од каде дотекнува струјата, сметај ги за точки со повисок потенцијал. Електромоторните сили кои во даден струен круг во насока на разгледувањето предизвикуваат скок од повисок

кон понизок потенцијал, ги земаме со негативен предзнак).

Добиениот резултат конечно можеме да го запишеме во облик:

$$\sum_{j=1}^m \mathcal{E}_j = \sum_{i=1}^n I_i R_i$$

Равенката го претставува **второто Кирхофово правило** и гласи:

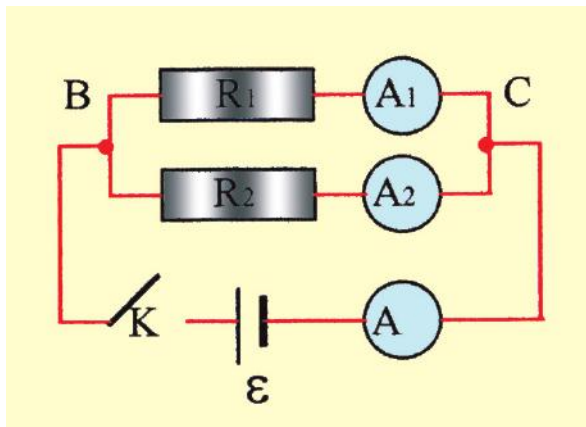
Дефиниција: Алгебарскиот збир на електромоторните сили во една затворена контура е еднаков на алгебарскиот збир на падовите на напоните во истата контура.

Забелешка:

Со помош на Кирхофовите правила можеме да определиме и насока на струјата во определена гранка. Тоа го правиме на тој начин што првин претпоставуваме определена насока за струјата и извршуваме примена на Кирхофовите закони. Ако за јачината на струјата по решавање на системот равенки добиеме позитивна вредност, претпоставената насока е вистинската, а ако добиеме негативен резултат, струјата има спротивна насока.

Примена на Кирхофовите правила во праксијата

Ќе ги разгледаме Кирхофовите закони на еден случај кој често го имаме во практика, а можеме да го провериме и со експеримент.



Слика 28: Со помош на приклучените амперметри во гранките на кругот се проверува и потврдува првото Кирхофово правило

Нека во струен круг (Слика 28) во точката B струјниот круг се дели на две гранки од кои едната има отпор R_1 , а другата отпор R_2 и нека и двете гранки се соединуваат во точка C во главниот дел на кругот. Потенцијалите во точките B и C имаат постојана вредност. Ако јачините на струите во поединечните гранки помеѓу јазлите B и C ги означиме со I_1 и I_2 , тогаш според првиот Кирхофов закон ќе биде:

$$I = I_1 + I_2.$$

Ако сега го примениме вториот Кирхофов закон за гранките помеѓу јазлите B и C каде што нема извори, така да можеме да ставиме дека $\mathcal{E} = 0$, вториот Кирхофов закон го добиваме во облик:

$$\sum_{i=1}^2 I_i R_i = 0.$$

Бидејќи струјата во едната гранка има насока на стрелките на часовникот, а втората обратна насока, последната равенка можеме да ја напишеме:

$$I_1 R_1 + (-I_2 R_2) = 0 \text{ или } I_1 R_1 = I_2 R_2.$$

Од равенката произлегува:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}.$$

Вежба: Прочитај ја равенката и запиши ја во друг математички облик!

Заклучок: Во гранката со поголем отпор тече струја со помала јачина.

Да запомниме:

- Сложените струјни кола се состојат од јазли, гранки и контури;
- За нив важат Кирхофовите закони, кои се обопштување на Омовиот закон за цело струјно коло;
- За јазлите важи Првиот Кирхофов закон;
- За контурите важи Вториот Кирхофов закон;
- Последица на Вториот Кирхофов закон се послабите струи во гранките со поголем електричен отпор.

Отпорници. Сврзување на отпорници

Оџиорници

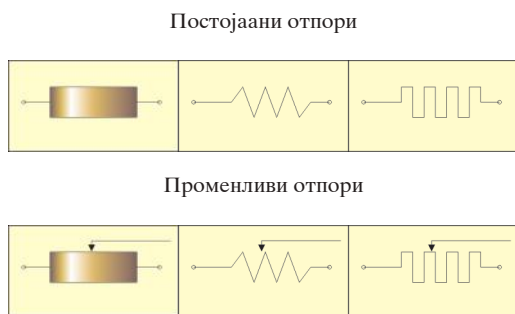
Видовме дека металните проводници и пружаат отпор на струјата и во согласност со **Омовиот закон** ја определуваат јачината на струјата. Многу често се јавува потреба вклучување на проводници кои имаат точно определен отпор.

Дефиниција: Тела кои имаат точно определен отпор се нарекуваат *оџиорници*.

Забелешка: Отпорот на отпорниците треба да биде што е можно подобро определен и константен, а често тоа се тела со многу голем отпор во однос на останатиот дел од струјниот круг кој обично го сочинуваат бакарни проводници. Затоа отпорниците се прават од материјали со многу мал температурен коефициент на отпорот (манганин, константан).

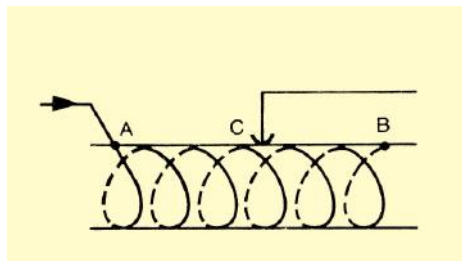
За големи отпори треба да се употреби долга и тенка жица. Често пати металите се заменуваат со полупроводници кои го имаат недостатокот на температурна стабилност на отпорот.

Шематските симболи на електричен отпор се различни, но најчесто тоа се симболите дадени на сликата 29:

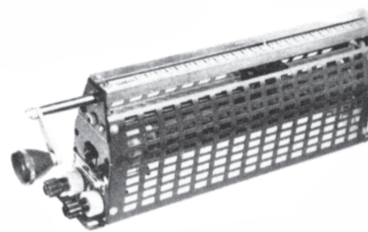


Слика 29: Во литературата можат да се сретнат следните шематски ознаки за отпорници

За регулирање на јачината на струјата се користат *оџиорници со променлив оџиор* (Слика 30) кои уште се нарекуваат и *реостатии*.



а. Шематскиот приказ ја дава внатрешноста на реостатот



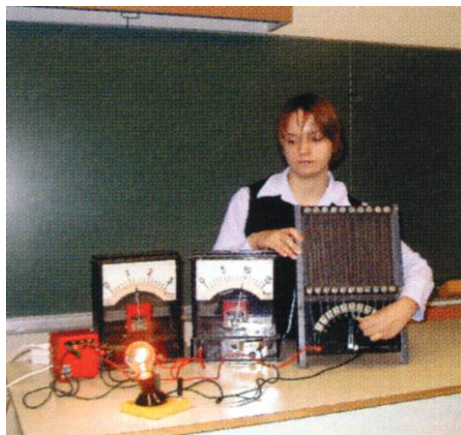
б. На сликата се гледа метална прачка и контактот кој се лизга по неа

Слика 30: Реостат

Промените на отпорот се вршат со помош на *лизгач C* што се лизга по телото на отпорникот кој вклучува различна должина од проводникот во струјниот круг. Реостатот се состои од изолатор на кој е навиткана жица со голем специфичен електричен отпор (за поскапи модели манганин, а за поевтини константан). Навивките се блиску една до друга, но не се допираат. Над навивките се наоѓа метална прачка долж која се поместува метален контакт -лизгачот. Контактот ги допира навивките и вклучува поголем или помал број на навивки, односно помала или поголема должина на проводникот.

Доста често за лабораториски услови при разни мерења во струјните кругови се вклучуваат *декадни куќи со оџиорници* во кои се ставени групи од по 9 отпорника за секоја декада. Така да, првата група ги има отпорите од 1 до 9 ома и служи како прва декада. Втората група содржи отпорници од 10 до 90 ома, третата од 100 до 900 ома итн. Ако има три декади отпорникот, може да се употреби за пружање на отпор од 1 до 9999 ома. Постојат отпорни декади со мегаомски можни вредности.

Кај *оџиорнициите со рачка*, со поместување на рачката, отпорот се вклучува, се менува во скокови за вредност на отпорот на едната жица.

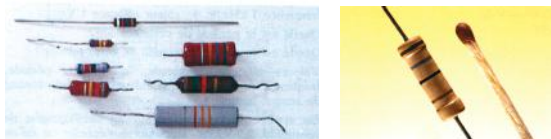


Слика 31: Отпорник со рачка.

Посебна група на лабораториски отпорници се *ојшорници со чейови* и *Вийсџионов маси*.



Слика 32: Витстоновиот мост е лабораториски отпорник со чија помош се определуваат непознати отпори



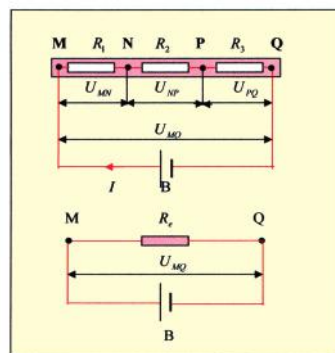
Слика 33: Во продажба се отпорници кои имаат познат отпор кој може да се определи со помош на обоените прстени. Првите два прстена имаат значење на броеви, третиот е фактор на множење, а четвртиот толеранција. Нашиот отпорник даден на сликата десно има отпор од 18 ома

За точни мерења или баждарења на други отпорници се користат *ејталонски* односно *стандардни* отпорници. Овие отпорници имаат доста точно определен отпор со толеранција означена на нив. За интернационален стандард за единица ом е земен отпорот на живин конец со константен пресек, долг 106,300cm со маса 14,4521g на температура од 0°C при поминување на постојана струја. Непрактичноста за употреба на живиниот конец во лабораториски услови довела до изработка на стандардни отпорници од веќе споменатите легури. За топлинска изолација отпорникот се става во масло и неговото приклучување се врши на специфичен

начин за да мерењето биде исправно. Точноста на таквите мерења е околу 0,01%.

Сериско сврзување на отпорниците

Во струјните кругови отпорниците можат да бидат врзани на различни начини. Во принцип постојат два начина на сврзување: *паралелно* и *сериско*.



Слика 34: При сериско врзување на отпорници низ сите отпорници тече струја со иста јачина

При *сериској* сврзување (Слика 34) на отпорниците карактеристично е тоа што низ сите елементи од врквата тече струја со иста јачина. Ако врквата е остварена со три отпорника со отпори R_1 , R_2 и R_3 , поминувањето низ нив на струја со јачина I предизвикува падови на напон $U_{MN}=R_1I$, $U_{NP}=R_2I$ и $U_{PQ}=R_3I$, така да меѓу краевите на врквата вкупниот пад на напон ќе биде:

$$U_{MQ} = U_{MN} + U_{NP} + U_{PQ},$$

односно вкупниот пад на напон меѓу точките M и Q можеме да го земеме како резултат на пружање на еден единствен отпор во тој дел од струјното коло кој го нарекуваме *еквивалентен ојшор* и го означуваме со R_e . Тогаш за падот на напонот U_{MQ} важи равенката $U_{MQ} = R_e I$.

Дефиниција: Еквивалентен отпор е отпор на претпоставен отпорник кој кога би се нашол меѓу точките на соодветната врска би го дал истиот пад на напон во тој дел од струјниот круг.

Равенката за падовите на напоните го добива обликот:

$$R_e I = R_1 I + R_2 I + R_3 I$$

за да конечната формула стане

$$R_e = R_1 + R_2 + R_3 .$$

Заклучок: Еквивалентниот отпор на три сериски сврзани отпорници е збир од нивните поединечни отпори.

Доколку врската ја направиме од n сериски сврзани отпорници, тогаш равенката добива поопшт облик:

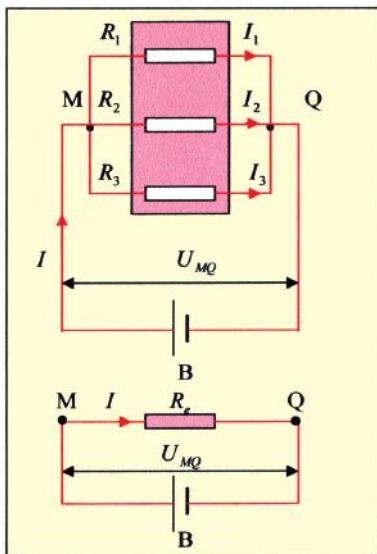
$$R_e = \sum_{i=1}^n R_i$$

Заклучок: Еквивалентниот отпор на повеќе сериски сврзани отпорници е еднаков на збирот од нивните отпори.

Последица: Со сериското сврзување секогаш се добива еквивалентен отпор поголем и од најголемиот поединечен отпор.

Паралелно сврзување на отпорниците

Паралелното сврзување на отпорниците се остварува со формирање на точки на разгранување во дел од струјно коло меѓу кои можат да се сврзат два или повеќе отпорника. Теоријата ќе ја оформиме за паралелна врска на три отпорника со отпори R_1, R_2 и R_3 . (Слика 35).



Слика 35: При паралелно врзување на отпорници низ сите отпорници се јавува ист пад на напон

Јачината на струјата која тече низ струјното коло и минува низ изворот во точката M се разгранува според првото Кирхофово правило

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

и минувајќи низ секоја од гранките предизвикува еднакви падови на напони определени со формулите:

$$U = R_1 I_1, \quad U = R_2 I_2 \quad \text{и} \quad U = R_3 I_3$$

кои понатаму по изразување на јачината на струите $I_1 = \frac{U}{R_1}$; $I_2 = \frac{U}{R_2}$; $I_3 = \frac{U}{R_3}$ и сметајќи дека на нивното место еквивалентниот отпор би ја определил струјата со формулата $I = \frac{U_{MQ}}{R_e}$ и замена во Кирхофовото правило го даваат обликот:

$$\frac{U}{R_e} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

од кој на крајот произлегува изразот:

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

Заклучок: Реципрочната вредност од еквивалентниот отпор на три паралелно сврзани отпорници е еднаков на збир од реципрочните вредности на трите сврзани отпорници.

И при оваа врска можеме да сврземе n отпорника и формулата да ја обопштиме

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

Заклучок: Реципрочната вредност на еквивалентниот отпор на повеќе отпорници во паралелна врска е еднаква на збирот од реципрочните вредности на отпорите на сите отпорници во врската,

Последица: При паралелно сврзување на отпорниците, вредноста на еквивалентниот отпор е помала и од најмалиот поединечен отпор.

Вольтметри и амперметри

За мерење на многу слаби струи и многу слаби напони се користат *галанометри*. Тоа се чувствителни инструменти кои даваат полн отклон на стрелката веќе при јачина на струја од илјадити дел на ампер, а отпорот им е десетина ома. Струјата што минува низ галанометарот не смее да помине вредност од она што се добива при полн отклон на стрелката. Да кажеме дека галанометарот мери струја со јачина $I_g = 4\text{mA}$ и отпорот му изнесува 25Ω . Тоа значи дека на краевите од галанометарот смееме да донесеме напон не поголем од $0,1\text{V}$.

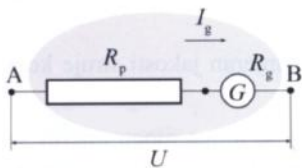
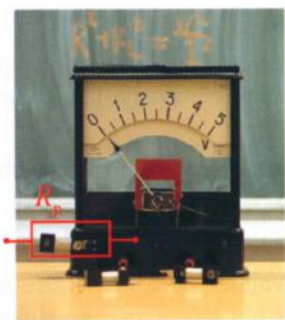
Вежба: Потврди ја со математичка пресметка вредноста на горе дадениот напон!

Агол за неснаодливите:

$$U_G = R_G \cdot I_G \Rightarrow U_G = 25\Omega \cdot 4 \cdot 10^{-3}\text{A} = 0,1\text{V}$$

Сепак, на таквите галанометри можат со приклучување на соодветни отпори да се пренаменат за мерење на доволно високи напони и доволно јаки струи. Така добиените инструменти ги нарекуваме *волтметар* и *амперметар*.

Волтметар се добива ако во *серија* со галанометарот приклучиме правилно определен *предоптор*. Ако тој предотпор е R_p , а отпорот на галанометарот R_g (Слика, 36) тогаш вкупниот отпор на волтметарот е $R_V = R_g + R_p$.



Слика 36: Принцип на проширување на мерното подрачје на волтметар

Бидејќи најјаката струја што може да тече низ галанометарот е I_g , волтметарот смееме да го приклучиме на највисок напон определен со равенката:

$$U_V = (R_g + R_p) I_g$$

Ако волтметарот е направен за однапред предвиден напон U_V , тогаш предотпорот мора да има вредност дадена со равенката

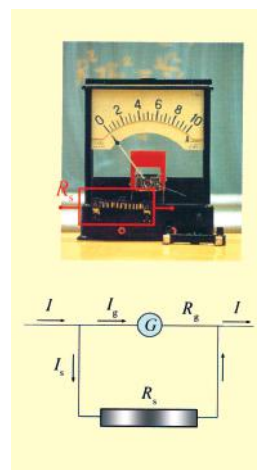
$$I_g = \frac{U_V}{R_g + R_p} \Rightarrow R_p = \frac{U_V}{I_g} - R_g$$

Вежба: Определи го предотпорот за случај кога сакаме со овој инструмент да измериме напон од 20 волти!

Агол за неснаодливите:

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{U_V}{I_g} - R_g = \frac{2\text{V}}{4 \cdot 10^{-3}\text{A}} - 25\Omega = \\ &= 500\Omega - 25\Omega = 475\Omega \end{aligned}$$

Амперметар може да се направи ако *паралелно* со галанометарот правилно сврземе определен отпор R_s (Слика 37). Вака определените отпор се нарекува *шант*.



Слика 37: Принцип на проширување на мерното подрачје на амперметар

Да земеме дека отпорот на шантот е R_s . Ако низ галанометарот максимално дозволената јачина на струја е I_g , можеме јачината на струјата што тече низ шантот да ја пресметаме според вториот Кирхофов закон

$$I_s = \frac{R_g}{R_s} I_g$$

Најјаката струја која може да се пушти низ амперметарот, тогаш е определена со равенката

$$I = I_s + I_g$$

Ако амперметарот го конструираме за некоја однапред определена вредност на јачина на струја I , од формулите произлегува дека мора да употребиме шант со отпор

$$R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g}$$

Вежба: Определи го шантот ако сакаме да мериме јачина на струја од $0,10A$!

Агол за неснаодливите:

$$R_s = \frac{4 \cdot 10^{-3} A \cdot 25 \Omega}{0,10 A - 0,01 A} = \frac{0,1 V}{0,09 A} = 0,11 \Omega$$

Да запомниме:

- Отпорниците се уреди кои во струјниот круг влијаат на јачината на струјата;
- Има повеќе вида на отпорници: со постојан и со променлив отпор;
- Реостатите служат да се менува јачината на струјата;
- Другите се користат во лабораториски услови, но и во разни постројки;
- Потребните отпори можеме да ги добиеме со меѓусебно сврзување на отпорите со кои располагаме: сериски, паралелно и мешовито;
- Сериското сврзување го правиме кога ни се потребни поголеми отпори;
- Паралелно сврзување се користи кога ни се потребни помали отпори;
- Со сврзување на предотпори и шантови чувствителните галванометри ги претвараеме во волтметри и амперметри.

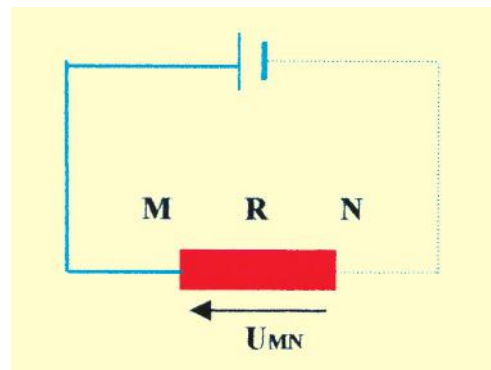
$$W = I \cdot t \cdot (V_M - V_N)$$

Работа и моќност на права постојана струја. Цул - Ленцов закон.

Работата на електрична сила

Во електростатика видовме дека работата на електричната сила \vec{F} , која дејствува врз електричен полнеж q кој се поместува од точка M каде нејзиниот потенцијал е V_M до точка N каде нејзиниот потенцијал е V_N (Слика 38) е

$$W_{M \rightarrow N} = q(V_M - V_N)$$



Слика 38: Работата што ја вршат електричните сили меѓу точките M и N зависи од пренесеното количество електричество и напонот меѓу точките M и N

Формулата останува важечка и во електрокинетиката, односно во случај кога електричните полнежи се поместуваат заедно како ансамбл. Работата на електричните сили кои дејствуваат врз полнежи во движење е наречена *работата на електрична сила* и е определена со равенката:

$$W = q(V_M - V_N)$$

а бидејќи работиме на проблем на права постојана струја за чија јачина важи равенката $I = \frac{q}{t}$, од каде се добива изразот $q = It$, за случај кога струјата протекува од точката M кон точката N имаме:

или поточно:

$$W = I \cdot U \cdot t$$

Дефиниција: Работата на електрична струја е определена како производ од јачината на струјата, напонот и времето.

Ако јачината на струјата е во ампери (A), напонот го мериме во волти (V), а времето во секунди (s), работата ја добиваме во џули (J).

Изразот важи за случај кога имаме потрошувач. Ако $W > 0$ што се запишува како $W = W_R$ и тогаш во тој дел од струјниот круг има потрошувачот кој врши работа и прима енергија, обично како термоген (омски) отпорник.

За случај на $W < 0$ во тој дел од струјниот круг постои елемент кој испорачува енергија. Тоа е случај на генератор.

Ние повеќе внимание му посветуваме на првиот случај.

Малку теорија: Електричната струја претставува движење на електрични полнежи низ проводник од место каде има поголема потенцијална енергија кон место каде има помала потенцијална енергија. Ако меѓу тие две места владее напон U , тогаш знаеме дека на единица полнеж кој ја поминува таа потенцијална разлика енергијата му се намалува токму за вредноста на напонот U . Според тоа, енергијата на полнеж q ќе се намали за вредност qU . Според законот за запазување на енергија изгубената електрична енергија се претвара во друг облик на енергија, и се јавува како енергија на наполнет акумулатор, енергија на електромотор, како топлинска енергија, како светлина која ја емитува светилката. Во случај на тие ефекти ние велиме дека *струјата врши работи*. Таа енергија што струјата ја испорачува до електричните потрошувачи и се регистрира како потрошена енергија.

Дефиниција: Енергијата што ја троши некој потрошувач поделена со времето во тек на кое работи потрошувачот ја дава **моќноста** со која работи потрошувачот.

Ако напонот го мериме во волти (V), јачината на струјата во ампери (A), моќноста ја добиваме во вати (W). Честопати наместо ват се користи единицата волтампер (VA).

$$W = IV \cdot t$$

Од равенката за дефинирање на моќност се добива можност за една новина

$$1 \text{ џул} = 1 \text{ ватсекунда} \quad 1J = 1Ws$$

Забелешка: Ват е единица за моќност, а ватсекунда за работа и енергија. Поголема единица за моќност е киловат, а за енергија поголема единица е киловатчас.

Вежба: Најди ја врската меѓу еднородните помали и поголеми единици.

Џулов ефект. Џул - Ленцов закон

Кога електрична струја тече низ жица, жицата се загрева, затоа што енергијата на електричната струја се троши за совладување на електричниот отпор на жицата. Ако жицата е тенка, таа може да се вжари, па дури и да се истопаи ако струјата е многу јака. (Зошто?)

Бидејќи топлината е вид на енергија што се ослободува од тело со повисока температура за сметка на неговата внатрешна енергија, во услови на термодинамичка рамнотежа, изразот за работа на електрична струја во исто време ја претставува и ослободената топлина, но само во услови кога при проток на струјата низ потрошувачот целокупната енергија се претвара само во топлинска, а не се претвара во други облици на енергија. Тоа е случај кога струјата поминува низ жица со многу голем електричен отпор.

На тој принцип се засновува работата на многу електротоплински направи, како што се електрична печка, електричен грејач итн. Меѓутоа, при полнење на акумулатор дел од енергијата се претвара во искористена хемиска енергија W_k , а делумно во изгубена топлинска енергија W_i (акумулаторот се загрева). Во овој случај тоа е непожелниот облик на претварање на енергија и се јавуваат загуби.



Слика39: Низ тенката жица поминала струја која ослободувајќи топлина ја загреала до вжестување така да гори нејзината изолација

Во еден ваков случај изразот за работата што ја врши електричната струја е еднаков на збирот на овие две енергии.

Со експериментални работи изразот за пресметување на топлинската енергија, ослободена при протекување на електрична струја низ потрошувач, прв го дал Џул (Слика 40) така да по него е познат како **Џулов закон**, а топлината добиена со помош на електричната струја се нарекува *Џулова топлина*. Математичкиот облик на законот е

$$Q = U \cdot I \cdot t$$



Слика 40: Џејмс Прескот Џул (1818 - 1889)

Ако напонот го мериме во волти (V), јачината на струјата во ампери (A), а времето во секунди (s) топлината ја добиваме во џули (J) или ват-секунди (Ws).

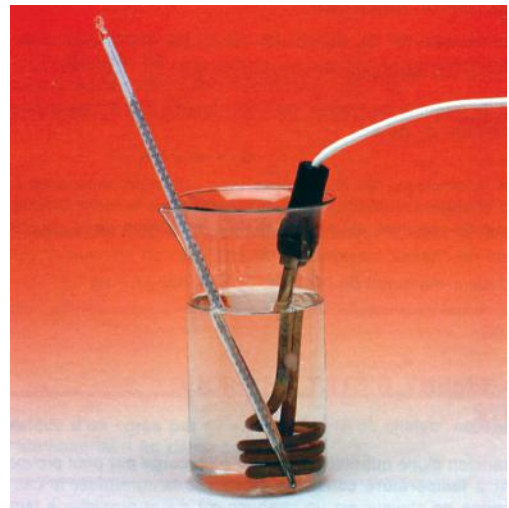
Со помош на Омовиот закон **Џулов-иот закон** можеме да го запишеме во уште две форми

$$\text{или } Q = \frac{U^2}{R} t$$

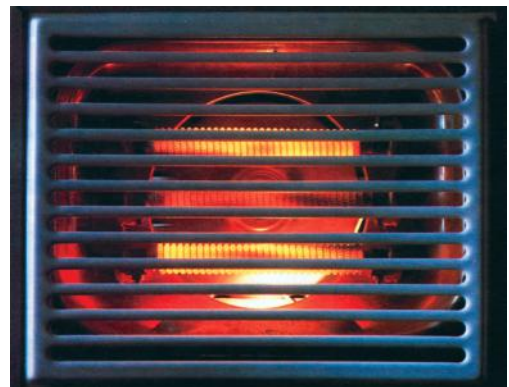
Заклучоци:

- Ако низ различни проводници тече струја со иста јачина, развиената топлина ќе биде пропорционална со отпорите на тие проводници, односно во проводниците со поголем отпор ќе се развие поголемо количество на топлина. Значи, ако сакаме топлината да ја сконцентрираме во некој дел од струјното коло, отпорот во тој дел мора да биде голем во однос на другите делови на струјното коло. Во направите во кои треба да се развива топлината (електричните печки, електричните грејачи,

рингли (електрични плочи), електрични пегли, светилки итн.) се наоѓа жица со многу поголем отпор отколку отпорот што ја обезбедуваат врската така да речиси целокупната топлина се развива во жицата. Затоа, електричните проводници што се користат за сврзување, обично се изработуваат така да за секои 5-6А јачина на поминувачката струја се зема дебелина од $1mm^2$



Слика 41: Електричниот грејач ја загрева водата во чашата



Слика 42: Греачите се изработени од материјал со голем отпор и греалката електричната енергија ја претвора во топлинска

Да запомниме:

- Работа во струен круг вршат Кулоновите електростатски сили;
- Извршената работа ако е позитивна се пренесува на некој потрошувачки дел

од струјниот круг, а ако е негативна, оди за сметка на изворот;

- Работата е секогаш определена со напонот, јачината на струјата и времето;
- Мокноста е важна карактеристика на струјниот круг и неговите елементи и е определена само со својствата на струјниот круг: напонот и јачината на струјата;
- Најчест облик на ослободување на енергија преку течење на струја е топлинската енергија;
- Во услови на термодинамичка рамнотежа и без други ефекти на позитивна работа топлинската енергија е индентична со извршената позитивна работа и зависи од јачината на струјата, напонот и времето на вршење.

Полупроводници

Кристални тела кои според степенот на проводливост се наоѓаат помеѓу проводници и изолатори се нарекуваат *полупроводници*. Типични претставници на таквите кристални тела се германиумот, силициумот (Табела 3), сулфидите на бакарот, сребро, олово, кадмиум, жива и др., антимонати, легури на антимон со магнезиум, цинк, германиум итн.

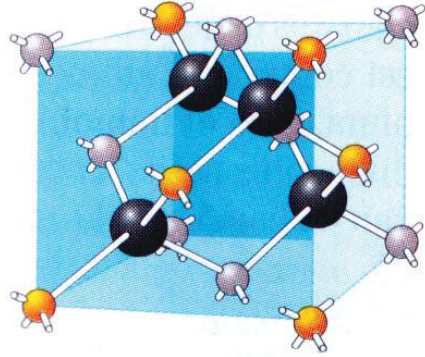
Табела 3: Дел од Периодниот систем каде што се сместени елементите кои покажуваат полупроводнички својства

		D							
		13	14	15	16	17	18		
		III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII		
								2	1, 0203
									He
								2	0,0001
									Li
									Be
2p		5	6	7	8	9	10	11	12
		B	C	N	O	F	Ne		
		10,811	12,011	14,007	15,999	18,998	20,180		
		10,81	12,01	14,01	16,00	19,00	20,18		
		10,81(7)	12,00(9)	14,00(7)	15,99(4)	18,99(8)	20,179(7)		
		Бор	Углерод	Азот	Кислород	Флуор	Неон		
3p		13	14	15	16	17	18		
		Al	Si	P	S	Cl	Ar		
		26,98	28,09	30,97	32,06	35,45	39,95		
		26,98	28,09	30,97	32,06	35,45	39,95		
		26,98(1)	28,08(5)	30,97(6)	32,06(2)	35,45(3)	39,94(8)		
		Алуминиум	Силициум	Фосфор	Сулфор	Хлор	Аргон		
4p		31	32	33	34	35	36		
		Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
		69,72	72,64	74,92	78,96	79,90	83,80		
		69,72	72,64	74,92	78,96	79,90	83,80		
		69,72(3)	72,63(1)	74,92(1)	78,96(2)	79,90(4)	83,80(1)		
		Германиум	Германиум	Арсен	Селен	Бром	Криpton		
5p		49	50	51	52	53	54		
		In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
		114,82	118,71	121,76	127,76	126,90	131,30		
		114,82	118,71	121,76	127,76	126,90	131,30		
		114,818(8)	118,710(1)	121,757(3)	127,760(2)	126,904(5)	131,294(6)		
		Индииум	Калифорниум	Антимон	Телур	Јод	Ксенон		
6p		81	82	83	84	85	86		
		Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
		204,37	207,19	208,98	(209)	(210)	(222)		
		204,37	207,19	208,98	(209)	(210)	(222)		
		204,387(3)	207,19(1)	208,980(4)	(209)	(210)	(222)(6)		
		Талиум	Свино	Бизмут	Полониум	Астат	Радон		

ЛЕГЕНДА НА БОЈЕ НА СИМВОЛИТЕ

- ЦРВЕНА — ГАСОВИ
- СИНА — ТЕЧНОСТИ
- ЦРЕНА — ЦРПСТА
- ПЛОСКО — РАСТЕН БОДИ
- БЕЛА — ВЕШТАНИ ДОБИЕНИ ЕЛЕМЕНТИ

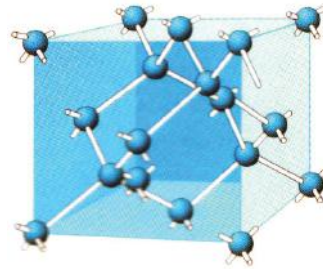
Земјината кора се состои 80% од полупроводници, било како чисти елементи или соединенија. Во денешно време тоа се сложени кристални структури добиени во сложени лабораториски услови.



Слика 43: Кристална решетка на современа структура со полупроводни својства. Во кристалната решетка се наоѓаат атоми на бакар, индиум и селен

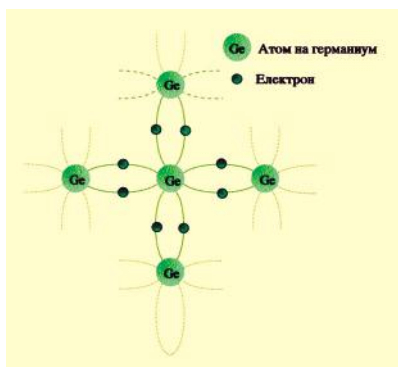
Сојсџвена ѓпроводливосџ

Кратка теорија: Германиумот има реден број 32, што значи дека во првата лушпа има два, во втората осум, во третата 18 и во четвртата непотполнета лушпа, четири електрони.



Слика 44: Шематски приказ на ковалентните врски остварени меѓу атомите во кристалната решетка со помош на четирите валентни електрони на секој атом

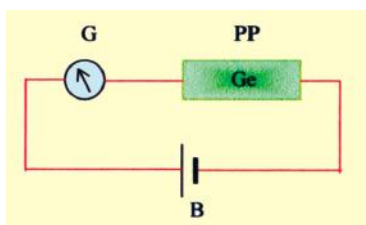
Благодарение на дијамантската структура која подразбира елементарна кристална решетка со еден централен атом и четири соседни сместени во врвовите на една тетраедарска структура (Слика 44), последните четири електрони кои се најоддалечени од атомското јадро и познати како *валентни електрони* остваруваат *ковалентна врска* со исто толку соседни атоми (Слика 45). Заради ваквиот вид на врски, кристалот на германиумот во нормални услови е изолатор.



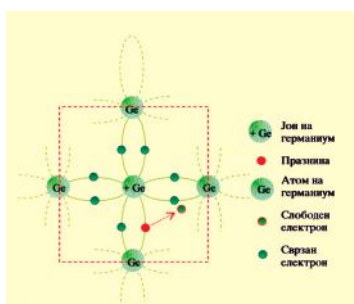
Слика 45: Во кристална решетка на германиум има четири еднакво одалечени соседи

Вежба: Проанализирај ја електронската конфигурација на силициум и определи го бројот на неговите валентни електрони.

Меѓутоа, ако полупроводниковиот кристал на германиум или силициум го вклучиме во струен круг на еднонасочна струја (Слика 46) стрелката на галванометарот многу малку ќе се отклони. Мерењата покажуваат дека во секој центиметар кубен од чистиот германиум има 10^{12} - 10^{13} електрони кои од најразлични причини ги напуштиле своите места во врските (Слика 47). Меѓутоа, ако кристалот го загреваме, ќе забележиме дека стрелката на галванометрот видливо го зголемува својот отклон.



Слика 46: Кристалот на германиум вклучен во струен круг на нормални температурни услови дава слаба струја



Слика 47: Со загревање се зголемува бројот на електроните и празнините како носители на електрични полнежи

Вежба: Каков заклучок можеш да извлечеш? Дали промените на спроводливоста кај полупроводниците при загревање се исти како кај металите?

Вежба: Ако од експерименталните мерења се знае дека кај металите спроводливоста благо се намалува, на пример: 0,3% за секој °C, а кај полупроводниците нагло расте со пораст на температурата, на пример: 4 - 6 за секој °C, нацртај ги графиците за зависност на електричен отпор од температура за двата вида на супстанции и обиди се да извлечеш заклучок за тоа дали постои можност полупроводниците да станат (добри) проводници? (Германиумот се топи на $1210,4^{\circ}\text{C}$, а силициумот на 1685°C).

Специфичниот отпор на полупроводниците се зголемува со намалување на температурата по експоненцијален закон чиј облик е

$$\rho = \frac{\Delta E}{e^{2kT}}$$

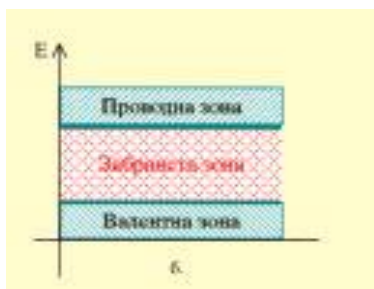
каде ρ_0 е специфичен отпор на полупроводникот на 0°C , ΔE енергија која треба да му се предаде на електронот на атомот на полупроводникот за да стане слободен и учествува во спроведување на струјата, k Болцманова константа, а T апсолутна температура на полупроводникот.

Загревањето не е единствениот фактор кој влијае на зголемувањето на спроводливоста на полупроводниците. Врз зголемувањето на спроводливоста може да влијае и светлината, - зрачењето, радиоактивни честички, механички влијанија (притисок) итн.

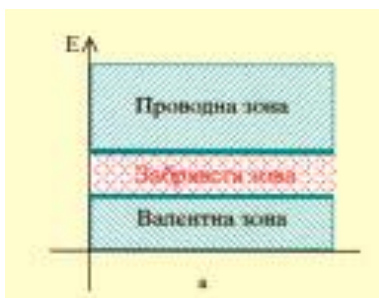
Вежба: Дали горенабројаните фактори подеднакво играат значајна улога во спроводливоста на металите?

Заклучок: Според карактерот на зависноста на специфичниот отпор, полупроводниците суштински се разликуваат од металите.

Кратка теорија: Својствата на кристалните полупроводникови тела може да се објаснат со зонската теорија на кристали (Слика 48), која успешно се применува и на металите.



Слика 48: Валентната и проводната зона кај кристалите на изолатори се раздвоени со забранета зона со ширина околу $10eV$

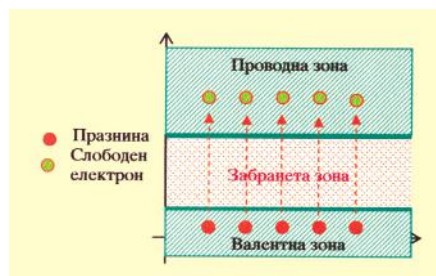


Слика 49: Забранета зона со ширина од $1eV$ ги прави проводни полупроводниците средини но со помала ефикасност од металите кај кои валентната и проводната зона се прекриваат

Ширината на забранетата зона кај полупроводниците е ред големина $1eV$ ($0,72eV$ за германиум, $1,11eV$ за силициум), а кај изолаторите $10eV$ што е доста голема енергија која многу мал број електрони можат да ја добијат, што од друга страна ги прави лоши проводници. Изолаторите практично не спроведуваат струја. Кај металите заради прекривање на валентната и проводната зона електроните се колективизираат и речиси сите валентни електрони стануваат слободни (10^{22} во cm^3 или $0,7$ слободни електрони по атом на сребро $0,8$ по еден атом на бакар, $0,9$ по еден атом на злато, а на еден атом на алуминиум приближно два електрони). Големиот број слободни електрони ги прави металите добри проводници.

Меѓутоа, на собна температура кај полупроводниците определен број на електрони има доволно топлинска (термичка) енергија да помине од валентната во проводната зона и да учествува во проводливоста на струјата. Со порастот на температурата се зголемува и бројот на електроните кои имаат доволно термичка енергија да извршат таков премин, заради што проводливоста се зголемува

Вежба: Спореди ги овие теориски заклучоци со експерименталните.



Слика 50: Со мало количество на енергија добиено од надвор електроните од валентни поминуваат во проводната зона и стануваат слободни електрони, а празнините остануваат во валентната зона

Сега ќе разгледаме што се случува кога ќе се раскине валентна врска и еден од електроните го напушти своето место. А еден таков електрон поминал во проводливата зона, на местото коешто го напуштил се јавува недостаток на електрон, така да тоа местото се однесува како исто толкаво *позитивно количество електричност*. За такво испразнето место вообичаен термин е *празнина*. На испразнетото место може да упадне некој друг електрон зад кој се создава нова празнина. Процесот така непрекинато се повторува, заради што празнината *безредно и скоковито*, од атом на атом се преместува внатре во кристалот.

Ако ваков полупроводник се најде во надворешно електрично поле, тогаш електронот ќе се преместува во спротивна насока од електричното поле, а празнината ќе отпочне подредено движење во насока на електричното поле. Проводливоста на проводникот која потекнува од придвижување на празнини во насока на надворешно електрично поле се нарекува *празнинска проводливост*. Учеството на електроните во струјата се нарекува *електронска проводливост*.

Јачината на струјата во ваквите средини е определена со следнава формула:

каде I_e е струја што се должи на слободните електрони, а I_p струја што се должи на празнините.

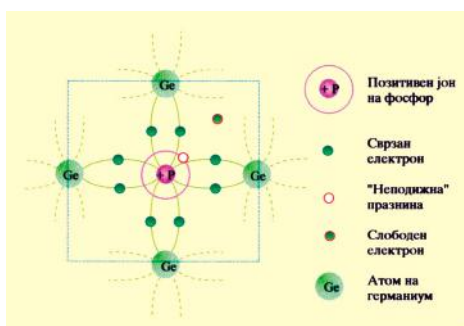
Дефиниција: Кога во проводливоста на полупроводниковиот кристал учествуваат подеднаков број на електрони и празнини станува збор за *сојска проводливост*.

Примесна проводливост

Полупроводници од *n*-тип

Досега изнесеното се однесува на хемиски чисти кристални полупроводникови тела кои немаат поголемо практично значење. Практичната примена се сведува на полупроводници во кои има *примеси* и заради кои проводливоста на полупроводниците битно се менува.

Присуството на примесите се сфаќа како *дефект* во кристалната решетка. Во овој случај ќе разгледаме кога еден редовен атом во кристалната решетка, на пр. на германиум, ќе се замени со *петивалентен елемент*, на пр. фосфор (Слика 51).



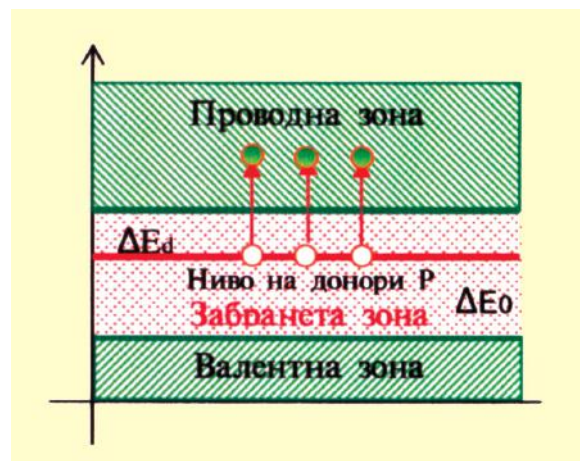
Слика 51: Петовалентниот атом на фосфорот прави четири ковалентни врски со своите соседи. Петтиот електрон го испушта и тој станува слободен електрон, а самиот се претвора во подвижен позитивен јон

Атомот на фосфор со четири свои валентни електрони гради четири ковалентни врски со по еден од четирите валентни електрони на своите четривалентни соседи. Петтиот валентен електрон на фосфор останува неспарен.

Вежба: Со помош на сликата на валентните зони обиди се да го објасниш влијанието на примесите врз проводливоста. Што мислиш за односот на бројот на сите слободни електрони кои учествуваат во проводливоста и празнините во услови на собна температура?

Вежба: Кои други елементи можат да се внесат во кристална решетка на чист полупроводник за да се добие истиот ефект?

Бидејќи нивото на *донори* ΔE_d (Слика 52) се наоѓа непосредно под проводната зона на германиум на собна температура практично сите неспарени валентни електрони на петовалентните примеси се преведени во проводната зона.



Слика 52: Нивото на донорите е блиску до проводната зона. Нивните електрони поминуваат во проводната зона и електроните стануваат основни носители на проводливоста

Заклучок: Со додавање на вакви примеси т. н. *донори* настанува *електронска примесна проводливост* која се карактеризира со голем број слободни електрони. Ваквата проводливост уште се нарекува *n-полупроводливост* или *проводливост од n-типи*, а вака онечистеното парче кристал се нарекува *полупроводник од n-тип*.

Кај полупроводниците од *n*-тип основни носители се електроните, а неосновни носители се празнините.

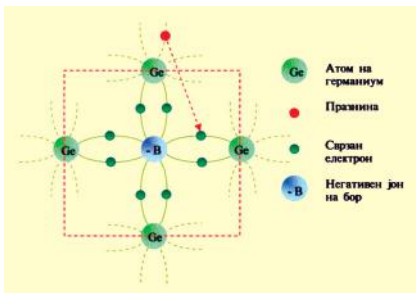
Забелешка: За да се онечистувањето се добие проводливост ред големина како кај металите потребно е на секој 10.000 до 1.000.000 атоми на чистиот полупроводник да се изврши замена со атом на донор.

Полупроводници од *p*-тип

Сега ќе анализираме случај на тривалентни примеси во кристалната решетка на чист полупроводник.

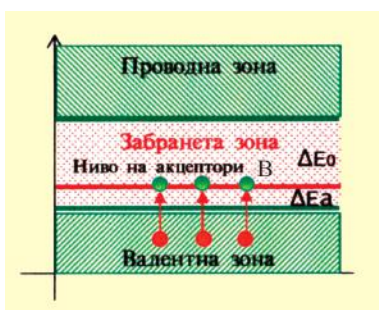
Вежба: Рамисли кои елементи би можеле да бидат онечистувачи во овој случај.

Од сликата се гледа (Слика 53) дека во конкретниот случај тоа е бор во кристална решетка на германиум. Атомот на бор со своите три валентни електрони прави три ковалентни врски со исто толку соседни четривалентни атоми.



Слика 53: Тривалентниот бор прави три ковалентни врски со своите четривалентни соседи. Лесно прифаќа четврт електрон од нечија валентна зона каде се формира празнина, а самиот станува неподвижен негативен јон

Валентното ниво на бор е многу блиско до валентното ниво на германиум (Слика 54). Ги одделува само мала вредност на енергија ΔE_a . Со соопштување на толкаво количество на енергија валентните електрони на германиум можат да поминат на валентното ниво на бор што се случува на релативно ниски температури. Затоа се смета дека веќе на собна температура секој атом на бор на своето валентно ниво го “позајмува” четвртиот електрон кој останува врзан и не може слободно да се движи. Со ваков премин атомот на германиум останал без електрон, со вишок на позитивно количество електричество, односно се јавува *празнина*. Таа може да биде пополнета со електрон од соседен атом, со што во првиот нестанува, а во вториот настанува празнина. Бројот на празнините е речиси еднаков на бројот на примесните атоми внатре во полупроводникот.



Слика 54: Нивото на акцепторите е блиску до валентната зона на атомите на германиум. Лесно се префрлаат валентни електрони од валентната зона на нивото на основната решетка при што се создаваат празнини кои стануваат основни носители на проводливоста

Вежба: Дали за да се добие проводливост споредлива со металите, во случај на додавање на акцепторски примеси, треба да се промени односот меѓу матичните атоми

и атомите “онечистувачи” споредено со случајот на донорските примеси?

Заклучок: Примесите на тривалентните атоми кои ги заменуваат атомите на полупроводникот во кристалите создаваат дополнителна *примесна празнинска проводливост*. Ваквите примеси се нарекуваат **акцептори**, а полупроводниците со акцепторски примеси *полупроводници од p-типи*.

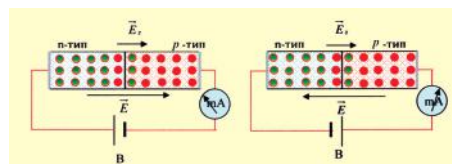
Кај полупроводниците од *p*-тип основни носители се празнините, а неосновни носители се електроните.

Да запомниме:

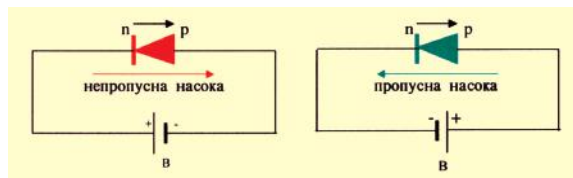
- Полупроводниците послабо ја спроведуваат струјата;
- Со покачување на температурата сопствената проводливост се зголемува и во неа учествуваат подеднаков број на електрони и празнини;
- Со додавање на донорни примеси бројот на електроните станува поголем и се добива електронска примесна проводливост и полупроводник од *n*-тип;
- Со додавање на акцептори бројот на празнините станува поголем и се добива празнинска примесна проводливост и полупроводникот од *p*-тип.

Полупроводникова диода

Ако поврземе полупроводников кристал од *p*-тип и полупроводников кристал од *n* тип (Слика 55), без рушење на нивната кристална решетка ќе добиеме *полупроводникова диода*. Во практиката не се спојуваат два кристала, а во еден кристал (монокристал) се формираат два слоја: *p*- слој и *n*-слој.



Слика 55: Со процес на дифузија од полупроводник од *p*-тип кон полупроводник од *n*-тип дифундираат празнини и истовремено од полупроводник од *n*-тип кон полупроводник од *p*-тип дифундираат електрони менувајќи ја просторната густина на полнежи и формирајќи запирен слој. Слојот, познат како *p-n* премин, има мала ширина но создава јако закочно контактено електрично поле E_x .



Слика 56: Слојот може да биде пропустлив или непропустлив за основните носители зависно од начинот на сврзување. Тоа го прави применлив во електротехниката како полупроводничка диода која има посебна ознака.

Со тоа, дотогаш рамномерната распределба на празнини во полупроводникот од p -тип и електрони во полупроводникот од n -тип ќе се наруши во допирниот дел т. н. *гранична зона* чија дебелина е $1\mu\text{m}$. Во таа зона по пат на *дифузија* подвижните слободни електрони од полупроводникот од n -тип поминуваат во полупроводникот од p -тип, а индиректно подвижните празнини од полупроводникот од p -тип поминуваат во полупроводникот од n -тип. Во текот на дифузијата електроните и празнините се спојуваат и *рекомбинираат* со што исчезнуваат. Заради тоа во граничната зона настанува значајна промена на просторната распределба на количеството електричество. Во просторот на полупроводникот од p -тип исчезнуваат празнини, а во просторот на полупроводникот од n -тип, електрони така да во полупроводникот од p -тип се јавува негативно просторно количество електричество, а во полупроводникот од n -тип се јавува позитивно просторно количество електричество. Овие два вида издвоени количества електричества создаваат *закочно електрично поле* во т. н. *заширен слој* со насока од полупроводник од n -тип кон полупроводник од p -тип кое ја попречува понатамошната дифузија на основните носители (празнини во p и електрони во n кристалите). Со тоа се создава рамнотежна состојба при која во граничната зона, речиси, и нема подвижни носители.

Со овој процес на дифузија создаден е простор со зголемен електричен отпор, т. н. *p - n премин*. Преминот се карактеризира со "*заширниот слој*" чија дебелина е 10^{-4}cm , а контактната потенцијална разлика е ред големина 10^{-1}V .

Вежба: Пресметај ја јачината на формираното хомогено електрично поле во просторот на запирниот слој!

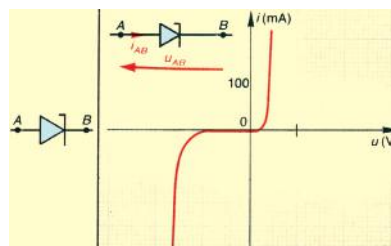
Врз слојот однадвор може лесно да се влијае со приклучување на прав постојан електричен напон и тоа со две можности:

а) Позитивниот пол се сврзува со n -кристалот, а негативниот пол со p -кристалот (Слика 48).

Со ваквото сврзување запирниот слој се проширува, а отпорот му се зголемува. Зошто?

Сега во p -просторот има мал број на електрони добиени од термичките (топлинските) влијанија како неосновни носители, заради што преминот на струјата низ запирниот слој е невозможен (постои многу слаба струја ред големина 10^{-9} ампери). Овој начин на сврзување се нарекува сврзување во *нейројусна насока*.

б) Ако позитивниот пол се сврзе со p -кристалот, а негативниот пол со n -кристалот, p - n преминот е сврзан во *пројусна насока*. Електроните и празнините започнуваат да се движат едни кон други како основни носители во своите области што како конечен резултат даваат намалување на ширината на запирниот слој. Изгубените по пат на рекомбинација електрони и празнини повторно се создаваат со помош на извор на напон кој преку n -кристалот уфрла нови електрони кои понатаму, движејќи се низ p -кристалот создаваат нови празнини. Во надворешниот дел на струјниот круг тече струја од електрони чија јачина брзо расте со зголемување на напонот. Зависноста на јачината на струјата од напонот се нарекува *волтамперска карактеристика*. (Слика 57)

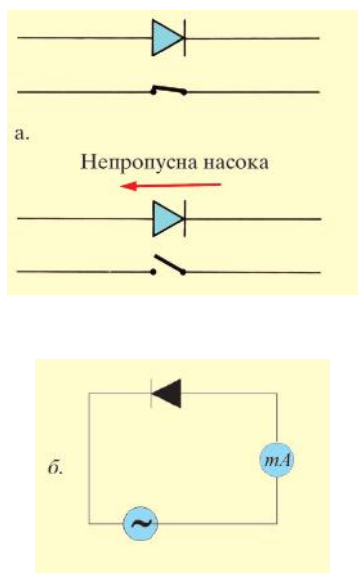


Слика 57: Волтметарска карактеристика на Зенер-диоде (таа има посебна ознака во електрониката) укажува дека струја во непропустлива насока нема, се дури не се формира електрично поле на пробивен напон кое ги разорува валентните врски на електроните

Оваа можност да врз струјата што минува низ p - n премин преку напонот кога преминот е сврзан во пропустлива насока, а при сврзување во непропустлива насока воопшто да нема струја или пак таа да има занемарлива јачина, која се користи за исправување на наизменична струја. (Слика 51). Во радиотехниката p - n преминот изработен како минијатурен исправувач се нарекува *кристална диода* и се означува вака:



Вежба: Користејќи ги информациите од (Слика 58) објасни како функционира полупроводничка диода како исправувач.



Слика 58: Силициумова диода заради своите пропусно-непропустливи карактеристики се споредува со прекинувач:

а. Затворен за пропустлива насока, отворен од непропустлива насока

б. Генераторот дава наизменичен напон кој диодата ја става во пропустлива насока во првиот полупериод на промените, а во непропустлива состојба во вториот полупериод на промените

Да запомниме:

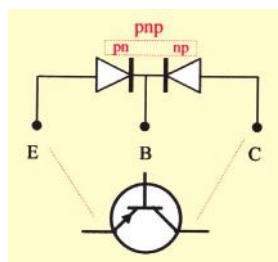
- Со спојување на еден празнински и еден електронски полупроводник се добива полупроводничка диода;
- на граничната површина се формира запирен слој со закочно поле кое ја става дифузијата во рамки на динамичка рамнотежа;
- $p-n$ преминот може да се стави во струен круг поврзана во пропустлива или непропустлива насока;
- Диодата од тие причини функционира како вентил и како исправувач.

Транзистор

Под *транзистор* се подразбира полупроводничков кристал од германиум или силициум кој се состои од три различни зони кои практично претставуваат два последователни $p-n$ или $n-p$

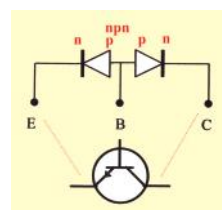
премини. Начинот на поврзување на премините прави да имаме два типа на транзистори: pnp и npr .

а) pnp - транзистор се состои од два p -полупроводника меѓусебно одделени со тенок слој од n -полупроводник (Слика 59а)



а. pnp транзистори

Последователен спој од pn и np премин дава pnp транзистор



б. npr транзистори

Последователен слој од np и pn премин дава npr транзистор

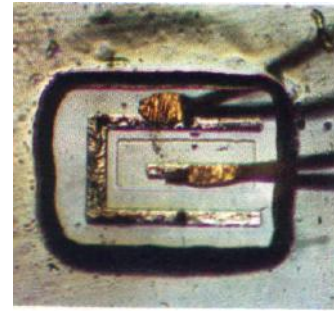
Слика 59: Шематски прикази на транзистори

б) npr - транзистор се состои од два n -полупроводника меѓусебно одвоени со тенок слој p -полупроводник (Слика 59б).

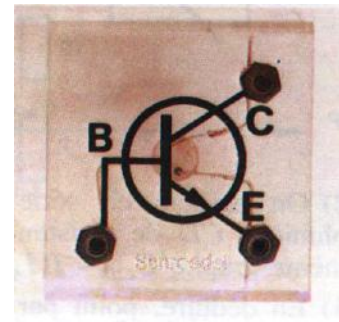
Еден од надворешните слоеви е секогаш *емитер* E (оној што со посебен струен круг се сврзува во пропустливата насока), а другиот е *колектор* C (оној што со посебен струен круг се сврзува во непропустлива насока). Средниот слој се нарекува *база* B и претставува делот на кој завршуваат двата струјни круга: *емитерскиот* и *колекторскиот*. Базата има мала дебелина од $0,02\text{mm}$ до $0,03\text{mm}$. Во базата, носени од надворешните електрични полиња како основни и неосновни носители во емитерскиот струен круг и колекторскиот струен круг се среќаваат и рекомбинираат празнини и електрони. Малата ширина на базата овозможува голем број на инјектираните во базата празнини (кај транзистори од pnp тип) или електрони (кај транзистори од npr тип) поминат без рекомбинација (околу 99%) и во колекторот дадат струја која е под силно влијание на напонот во колекторскиот струен круг. Односот на јачините на струите во

колекторскиот струен круг и јачината на струјата во емитерскиот струен круг се нарекува *фактор на струјно засилување* и може да изнесува неколку илјади. Овој факт транзисторите ги прави употребливи за *засилување на слаби сигнаи*.

Еден транзистор за секојдневна употреба изгледа како мал цилиндер со дијаметар и висина околу еден центиметар. Од основата на “шапката” излегуваат три жици кои овозможуваат поврзување на транзисторот во електричните струјни кругови (Слика 60). Секоја од овие три жици е поврзана со еден дел од внатрешноста на кристалот кој секој за себе игра важна улога во функционирањето на транзисторот. Овие три составни дела веќе ги запознавме под имињата база *B*, емитер *E* и колектор *C*. Реално, поголемиот дел од транзисторите во употреба се произведуваат тргнувајќи од еден монокристал, на пример на силициум со висока чистота во кој со дифузија по контролирана постапка се допираат атоми од други елементи на пример алуминиум (се добива силициум од *p*-тип) или фосфор (се добива силициум од *n*-тип). На тој начин, се добива поврзана структура од два *p-n* премини што е еквивалентно на две поврзани полупроводникови диоди кои се поставени една спроти друга која завршува како *pnp* транзистор (Слика 61).

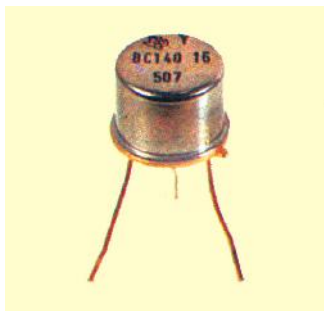


в. Надолжен пресек: начин на поврзување на внатрешните делови



г. Се гледа вообичаеното претставување во шемите за *pnp* транзистори

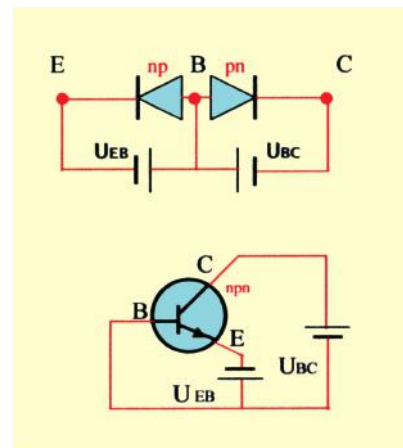
Слика 60: Транзистор



а. Надворешен изглед: од основата на Шапката излегуваат три ножиња



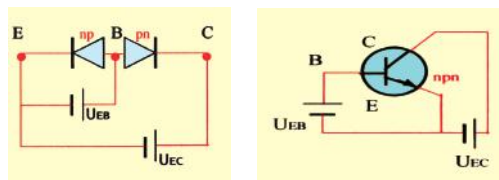
б. Шапката е отворена: се забележува парчето силициум



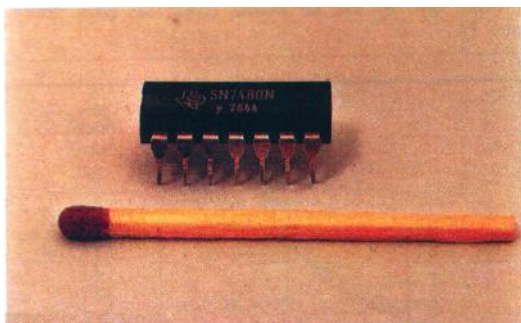
Слика 61: Шема на врзување на *pnp* транзистор со заедничка база

Забелешка: Технологијата на производството на транзистори е енормно еволуирала во последните 50 години. Сега се произведуваат еквивалентни структури од повеќе меѓусебно поврзани транзистори кои однапред ги имаат излезите на пое-

динечните транзистори. Овие мултиполи не се разгледуваат во оваа поглавие, но во секојдневната јавност се познати како “интегрални кругови”, а во суштина се сложени структури од прости елементи како што се транзистори, диоди, отпорници итн (Слика 63).



Слика 62: Шема на сврзување на npr транзистор со заеднички емитер

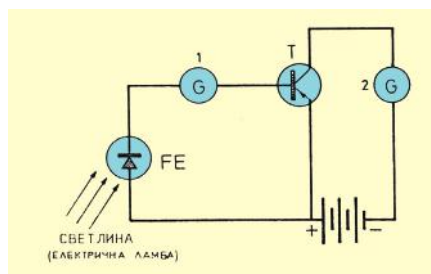


Слика 63: Очигледно дека интегралните кругови се во предност над електронските лампи заради малите димензии

Да запомине:

- Транзисторите претставуваат два последователни споени $p-n$ премина;
- На тој начин се добиваат транзистори од pnp и npr ;
- Секој транзистор има база, емитер и колектор;
- При сврзување на транзисторите се формираат два струјни круга: емитерски, кој секогаш $p-n$ или $n-p$ премините ги сврзува во пропусна насока и колекторски, кој премините ги има во непропустлива насока;
- Основните носители на емитерот преку базата каде се неосновни, повторно стануваат основни носители во колекторот кој со појаката колекторска батерија и формираното електрично поле им го зголемуваат драјфот и јачината на колекторската струја;

- Транзисторите во радиотехниката се користат како засилувачи.



Слика 64: Светлината што упаѓа на фотоелементот FE дава слаби отклони кај галванометарот 1, но забележливи кај галванометарот 2. Основните носители на емитерот успешно ја поминале базата и ја засиле колекторската струја

Термоелектронска емисија. Катодна цевка

Едисонов ефект

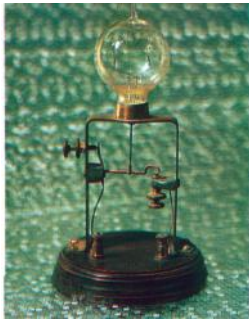
Испитувајќи ги причините за појавата да вжарените металните жици го јонизираат воздухот, Едисон (Слика 65), во 1883 год. открил дека површините на вжарените метали емитираат електрони. Овој т. н. *Едисонов ефект* или уште познат како *термоелектронска емисија* може да се потврди и со експеримент кој претставува мала модификација на оригиналниот кој Едисон го извел со светилка која наместо капа имала метална плоча вградена во балонот на светилката, а наместо електроскоп, користел галванометар.



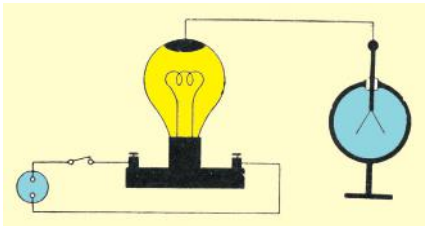
Слика 65: Томас Алва Едисон (1847-1931)

Обид: На горниот дел од стаклен балон на светилка залепуваме мала капа од станиол со радиус околу 5cm . Капата со жица ја сврзуваме за електроскоп, а светилката преку склопка за градската мрежа (Слика

66). Претходно треба да се изврши и добра изолација на стаклениот балон.



а. Едисонова светилка



б.. Шема на сврзување на Едисонова светилка во градска мрежа

Слика 66: Едисонов ефект

Со помош на сталкена прачка протриена со свежо амалгамирана кожа, металната капа ја електризираме позитивно. Ја вклучуваме светилката.

Експериментот го повторуваме така да со ебонитна прачка која ја триеме со крзно (свила) капата ја електризираме негативно.

Што забележуваме?

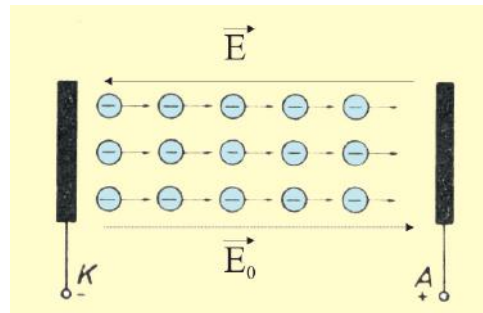
Додека светилката не гори, ливчињата на електроскопот остануваат раширени. Ако капата е наелектризирана позитивно, кога светилката ќе се запали ливчињата на електроскопот се собираат. Ако капата е наелектризирана негативно, ливчињата и понатаму остануваат раширени.

Заклучок: Од вака вжарената жичка на светилката, излегуваат електрони. Тие се негативно наелектризирани така да позитивната капа ги привлекува. На тој начин позитивното количество лектричество на електроскопот се неутрализира и ливчињата се собираат.

Забелешка: Овој експеримент е само имитација на Едисоновите обид затоа што електроните не можат да помината низ стаклото. Зошто? Тие не можат да дојдат до позитивната капа, но се натрупуваат под позитивната капа и индуктивно влијаат врз електроните во капата кои бегаат кон електроскопот и го неутрализираат. Со ова појаснување и ваквата форма на експериментот, демонстрира дека од вжарените метали навистина излегуваат електрони. Емитираните електрони над вжарената метална површина, формираат *елекџронски облак* кој за дадена температура на вжареност со своето закочно поле воспоставува динамичка рамнотежа меѓу процесот на термоелектронска емисија и враќањето на електроните кон вжештената метална површина.

Вежба: Врз основа на се погоре кажаното, обиди се да го реконструираш со цртеж и со опис оригиналниот експеримент на Едисон!

При практичното искористување на Едисоновите ефект, металот што го користиме го сврзуваме со негативен пол на некој извор за да обезбедиме постојан дотур на електрони, а позитивниот пол на изворот со друга метална електрода која за задача има да ги собира електроните и формираниот електронски облак над негативната плоча кој создава електрично поле насочено од плочата кон облакот и ги враќа електроните назад кон плочата го расчисти (Слика 67).



Слика 67: Електрично поле на облакот E_0 ги враќа електроните назад кон катодата, но анодата врзана за позитивниот пол на изворот го обезбедува полето E кое го расчистува облакот од електрони и се создава електрична струја

Според тоа металот кој емитира електрони станува *катода*, а другата метална плоча која се наоѓа на повисок потенцијал станува *анода*.

Така Ричардсон 1903 открил дека секоја вжештена катода во евакуирана цевка емитура електрони кои се движат кон анодата.

Општо земено, сите метали, а особено кога се премачкани со оксиди на ториум или земноалкални метали во евакуирани цевки, испуштаат електрони.

Со експерименти е докажано дека бројот на електроните што ги емитура површината на вжештените метали во единица време, расте со температурата. На пример кога жица на волфрам се вжешти на 2000°C , 2200°C , 2400°C , 2600°C , тогаш броевите на емитираните електрони од неа на тие температури се во однос 1:12:95:500.

Вежба: До која максимална температура можеш да го загреваш волфрамот? Кој друг метал би можел да искористиш за сличен експеримент?

Вежба: Направи график за зависноста на бројот на електроните од апсолутна температура и обиди се да го препознаеш математичкиот облик на законот!

Дефиниција: Појавата на емитурање на електрони од вжештени површини на металите се нарекува *термоелектронска емисија*, а електроните што се емитирани се нарекуваат *термоелектрони*.

Интензитетот на термоелектронската емисија зависи од температурата на загреаност на металната површина, но и од природата на металната површина, преку величината која се нарекува *излезна работа*.

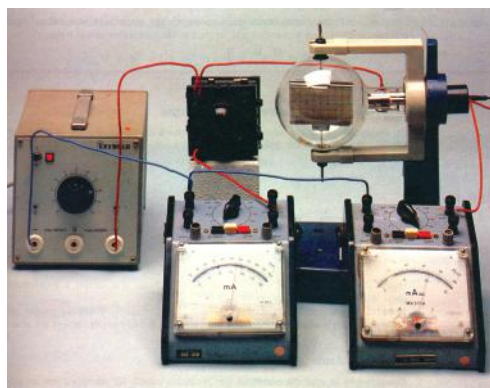
Дефиниција: Под излезна работа се подразбира количеството кинетичка енергија со која треба да располага електронот кој се наоѓа во вжарениот метал за да може да го напушти металот.

Забелешка: Излезната работа за термоелектронска емисија претставува многу мала вредност на енергија. Од тие причини излезната работа најчесто се изразува во електронволти (eV).

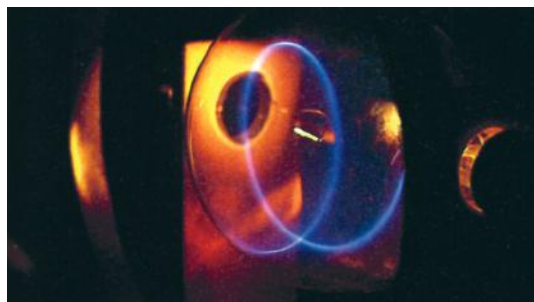
Вежба: Најди ја врска помеѓу цул и електронволт!

Термоелектроните имаат голема примена во науката и техниката, на пример, во електронски или катодни цевки кои служат за разни намени, особено во радиотехниката, во Браунова цевка, Рентгенска цев-

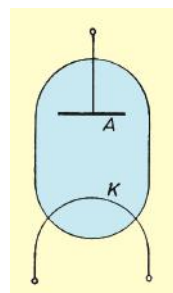
ка, кај циклотрон, електронски микроскоп итн.



Слика 68: Верзија на Браунова цевка во којашто може да се види дејството на електростатско поле врз електрони



Слика 69: Во стаклена евакуирана цевка електроните се уфрлени со голема брзина и изложени на дејство на магнетно поле. Извиткувањето на снопот е траекторијата на секој од електроните. На сличен начин работат и циклотроните



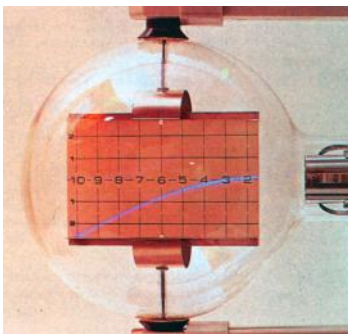
Слика 70: Шематски приказ на диода. Диодата е двоелектродна електронска цевка чија работа се должи на Едисоновиот ефект

Електронските цевки се стаклени цевки во кои воздухот е евакуиран до милионити дел од *mm* живин столб и низ кои протекува електрична струја, заради движење на термоелектрони кон анода. Секоја електронска цевка мора да има

најмалку две електроди: *анода* и *катодо*, а може да има и повеќе. Електронска цевка со две електроди се вика *диода*, со три електроди *триода*, со четири *тетраода*, со пет *пентода*. Едисон прв го искористил Едисоновиот ефект во 1904 год. за конструкција на диода, која битно не се разликувала од Едисоновата светилка.

Катодна цевка

При испитување на својствата на катодните зраци (снопови брзи електрони), е утврдено дека тие се шират праволиниски. Меѓутоа, ако врз катодните зраци делуваме со магнетно поле (да поминат помеѓу половите на потковичест магнет) (Слика 71), тогаш полето предизвикува механичко дејство врз зраците, затоа што врз секој електричен полнеж кој се движи во електрично поле дејствува Лоренцова сила. Силата дејствува во правец кој во исто време е нормален на силовите линии на магнетното поле и на векторот на брзината.

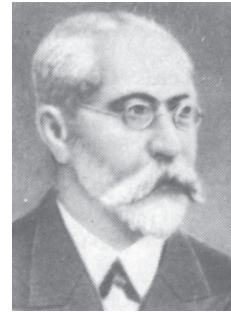


Слика 71: Катодната цевка е осовремена верзија на Браунова цевка во која снопот електрони може да ја опишува прикажаната траекторија било со дејство на електростатско поле, било со дејство на магнетно поле

Од порано знаеме дека електричното поле врз електричните полнежи дејствува со електростатска сила која е пропорционална со големината на електричниот полнеж и со јачината на електричното поле.

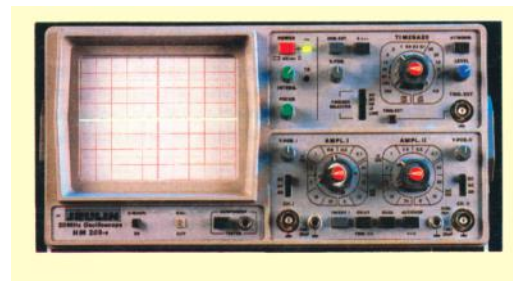
Вежба: Анализирај го случајот кога овие две дејства ќе се јават истовремено.

Врз основа на овие две појави магнетното и електричното поле да вршат механичко дејство врз електроните кога се во нив и ги отклонуваат од нивното праволиниско движење е конструирана *катодна цевка*. Пронајдок е на германскиот физичар Браун (Слика 72) во 1897 год. чија што прва верзија е позната како Браунова цевка.



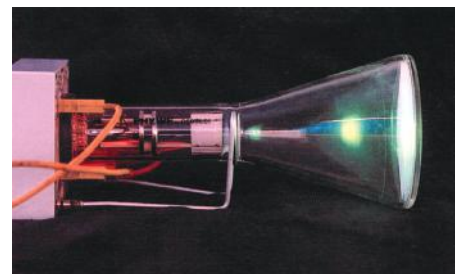
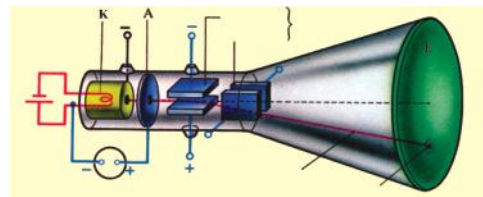
Слика 72: Карл Фердинанд Браун (1850 - 1918)

Таа е основен составен дел на катодниот осцилоскоп (Слика 73).



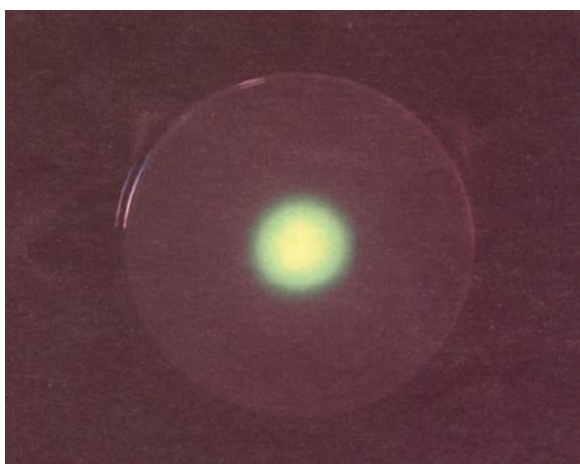
Слика 73: На екранот на катодната цевка се набљудува временската база: во самиот осцилоскоп постои генератор на пилест напон кој снопот го отклонува во хоризонтален правец. На осцилоскопот не е приклучен надворешен напон

Претставува високоевакуирана стаклена цевка која се состои од дел кој ги емитира електроните, дел кој ги забрзува електроните, скршнувачки систем и флуоросцентен екран (Слика 74).

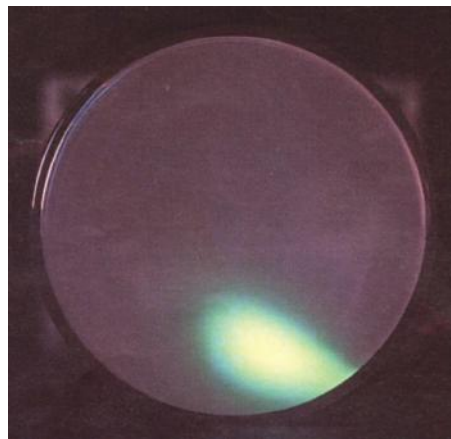


Слика 74: Шема и слика на катодна цевка

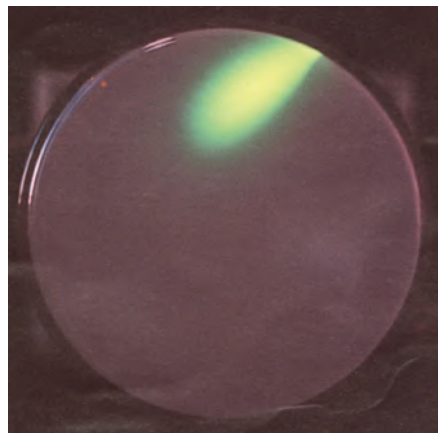
Добивање на слободни електрони се врши со термоелектронска емисија на сличен начин како што веќе е опишано. Метално влакно (Зошто влакно?) по индиректен пат загрева катода K која емитура електрони. Пред катодата се наоѓа Венелтов цилиндер кој преку својот потенцијал кој е негативен во однос на катодата, може да го зголемува или намалува интензитетот на снопот електрони (бројот на електрони што ќе излегуваат во единица време низ тесниот отвор на Венелтовиот цилиндер). Анодата A е со цилиндричен облик и се става под напон од 1000 до 10000 волти, зависно од големината и намената на цевката. Дивергентниот сноп од електрони го забрзува и го фокусира така да врз флуоросцентниот екран E снопот паѓа во една точка. Меѓу екранот и анодата се поставуваат два пара метални паралелни плочи од кои едниот е поставен во хоризонтална, а другиот во вертикална положба. Плочите служат за електростатско скршнување на електронскиот сноп. На пример, при воспоставување на определен напон меѓу хоризонталните плочи, меѓу нив се формира хомогено електрично поле, кое снопот што се движи хоризонтално, го отклонува горе или долу или горе - долу (во вертикален правец). Во овој случај снопот опишува параболична траекторија како во случај на хоризонтален истрел. Светлата точка во тој случај ќе се помести во вертикален правец во однос на местото кога меѓу плочите нема електрично поле. Врз големината на скршнувањето влијае големината на напонот меѓу плочите.



а. Врз снопот не делува никаков отклонски систем



б. Врз електронскиот сноп делува вертикално поставен електростатски отклонски систем



в. Врз електронскиот сноп делува хоризонтално поставен отклонски систем

Слика 75: Траги од сноп електрони врз флуоресцентниот екран на катодна цевка

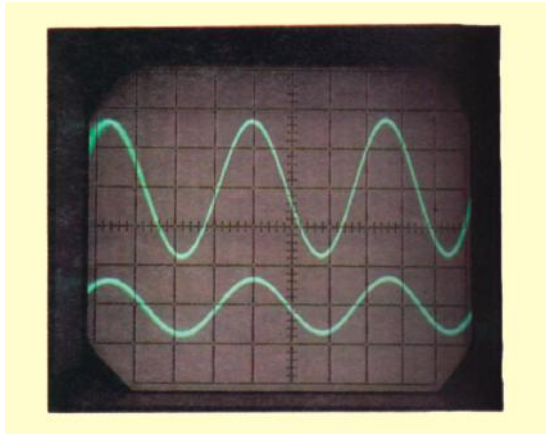
Вежба: Објасни, како функционира системот од вертикално поставениот пар плочи!

Од поларитетот на плочите зависи насоката на отклонување на снопот.

Електронскиот млаз може да се отклонува и со магнетно поле кое се создава со посредство на пар од калемии низ кои се пропушта електрична струја која формира магнетно поле, кое создава исти ефекти како и електростатското поле.

Под истовремено влијание на електричното поле од двата пара метални плочи или двата пара калемии снопот врши резултантно поместување, односно, доколку напонот за отклонување е

променлив, или пак е променлива јачината на струјата што се пропушта низ калемите на флуоросцентниот екран ќе се добие подвижна светла точка. Доколку промените се периодично повторливи и се вршат со голема фреквенција, тогаш траекторијата станува видлива и најчесто е со облик на синусоида (Слика 76).



Слика 76: Кај поновите верзии на осцилоскопи, се врши меморирање на определени осцилограми кои со повикување можат да се појават на екранот истовремено со актуелната осцилограма во вид на две паралелни синусоиди

Да запомниме:

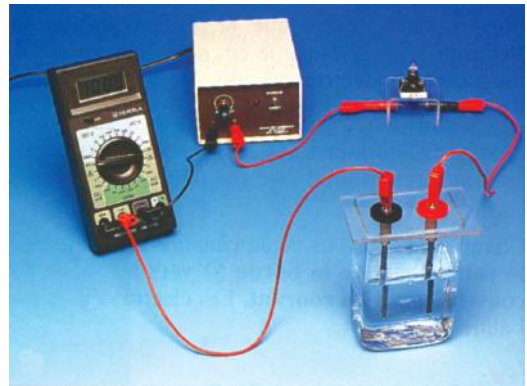
- Едисоновиот ефект покажал дека вжештените метални површини емитураат термоелектрони;
- Сноповите електрони се осетливи на електрично и магнетно поле;
- Ако над металната површина што емитура електрони се донесе метална површина со повисок потенцијал обезбеден преку позитивен пол на некоја батерија, може да се затвори струен круг;
- Овие струи се карактеристични за електронските лампи: диоди, триоди...;
- Катодната цевка е со најголема примена во нашиот секојдневен живот;
- Се состои од четири составни дела: систем кој емитура термоелектрони, систем кој ги забрзува, систем кој ги отклонува и систем кој ги регистрира.

Електролити. Закон за електролиза

Електролизата

Подолудадениот експеримент треба да ни покаже како електролитите како проводници од втор ред ја спроведуваат струјата,

Обид: Ако во хемиски чиста течност, на пр. вода, (Слика 77), ставена во стаклен сад, потопиме две метални електроди, на пр. бакар, сврзани во струен круг со некој извор на права струја и галванометар, ќе забележиме дека галванометарот не покажува струја.



Слика 77: Во стаклениот сад е ставена чиста дестилирана вода. Галванометарот не покажува струја

Заклучок: Течноста не спроведува струја. Таа е изолатор. Во неа нема слободни носители на електрични полнежи.

Ако природата на течноста ја промениме, но не и својствата на електропроводливоста, на пр. масло, ефектот ќе се повтори.

Заклучок: Хемиски чистите супстанции не спроведуваат електрична струја.

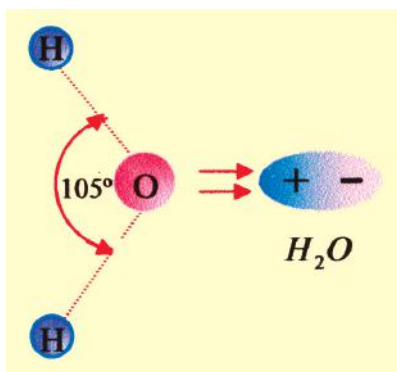
Ако, пак, во водата додадеме определена количина на некоја киселина, база или сол, ќе забележиме дека стрелката на галванометарот ќе се отклони, што е знак дека низ течноста се затворил струјниот тек. Ако наместо во вода супстанциите ги ставиме во друга течност, ќе дојде до промена на јачината на струјата, што значи се сменила и проводливоста на течната средина.

Доколку во течноста раствориме шеќер, ќе видиме дека ваквиот раствор не спроведува електрична струја.

Заклучок: Појавата на електрична струја во течности е поврзана со структурата (природата) на самата течност (растворувач) како и од структурата (природата) на супстанцијата што се става во течноста (растворената супстанца).

Раствори на соли, бази и киселини спроведуваат електрична струја и се нарекуваат *електролити*. Уредите во кои се добива ефектот иако потсетуваат на галвански елементи, не се тоа, бидејќи двете електроди имаат иста хемиска природа. Уредот се нарекува *електролитна ќелија*.

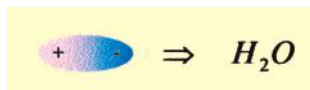
Механизмот на настанување на електрична струја во електролитите може да се објасни преку појавата наречена *електролитна дисоцијација*. За да настане процесот на електролитна дисоцијација, потребно е молекулите на растворувачот да бидат *поларни*. Таквите молекули претставуваат *перманентни диполи*. Настанување на перманентниот дипол на водата се објаснува со начинот на сврзување на атомот на кислород со двата атома на водород (Слика 78).



Слика 78: Молекула на вода. Заради нерамномерната припадност на електронските парови на кислородниот и водородните атоми, се формира диполниот карактер на молекулите на водата

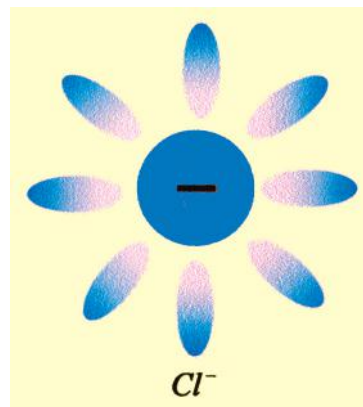
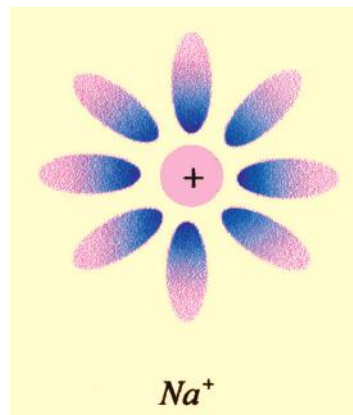
Аголот што го затвараат двата правци кои центрите на маса на водородните атоми ги сврзуваат со центарот на маса на кислородниот атом изнесува 105°C , што условува определена несиметричност во молекулата. Врската меѓу кислородниот атом и водородните атоми е ковалентна и подразбира, заради различното време на престој на заедничките електрони околу атомите на кислород и водород (подолго време парот се задржува во близина на кислородот) да кислородниот атом поседува определена *електронегајтивност*, а водородниот атом да има изразена *електропозитивност*.

На тој начин молекулите на водата се однесуваат како перманентни диполи што и се. Символичното означување е веќе дадено на (Слика 78).



Слика 79: Шематски приказ на дипол на вода

Ако во течност каде што веќе постојат перманентни диполи се најде некој кристал (пр. готварска сол), тогаш кристалот е опколен од диполните молекули, кои преку своите центри на електростатско дејство ќе извршат влијание врз врските што владеат меѓу структурните честичи на кристалот и се ќе заврши како што е дадено на (Слика 79) со создавање на нови честичи познати како *јони*. За електролитите велме дека имаат *јонска* спроводливост.



Слика 79: Електростатско дејство на половите на диполните молекули на водата кристалната решетка на готварска сол ја претвора во хаотично движење на позитивни јони на натриум и негативни јони на хлор, обвиткани со солватна обвивка

Вежба: Размисли за дадената ориентација на диполните молекули во однос на структурните единки на кристалот.

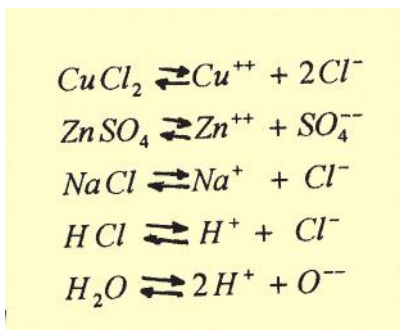
Поларните молекули на водата со јоните се сврзани со слаби привлечни сили, оформувајќи *солвајна обвивка*. Обвивката ги ослабнува привлечните сили меѓу јоните и тие не се држат близу еден на друг, а остваруваат хаотично топлинско движење.

Вежба: Размисли, колку пати се ослабнати електростатските привлечни сили меѓу разноимените јони во вода!

Дефиниција: Процесот на разделување на неутрални молекули или јонските кристали на позитивни и негативни јони во течносите се нарекува *електролитна дисоцијација*.

Во процесот на електролитна дисоцијација се создаваат *позитивни и негативни јони* кои служат како слободни носители на електрични полнежи.

Процесот на електролитна дисоцијација може симболички да се прикаже.



Слика 80. Равени на дисоцијација

Двонасочното поставување на стрелките укажува дека при среќавање на позитивниот и негативниот јон во течноста можно е формирање на стариот облик на молекула.

Дефиниција: Процесот на повторно создавање на неутралните молекули (неутрализирање на молекулите), се нарекува *рекомбинација* или *молизација*.

При мал број на растворени молекули и дисоцирани речиси сите молекули, мал е бројот на актите на рекомбинација и на нови дисоцијации. Меѓутоа, процесот на дисоцијација и рекомбинација не е статичен, а се остваруваат во услови на динамичка рамнотежа.

Величината со која се карактеризира количеството на дисоцираната супстанца се нарекува **степен на електролитна дисоцијација** и се обележува со α . Се дефинира како концентрација на бројот на дисоцираните молекули n во однос на концентрацијата на сите молекули на растворената супстанција n_0

$$\alpha = \frac{n}{n_0},$$

од каде се добива дека концентрацијата на дисоцираните молекули е $n = \alpha \cdot n_0$.

Заклучок: Доколку молекулата на растворената супстанција дисоцира само на еден позитивен и само еден негативен јон, тогаш концентрациите на позитивните и негативните јони е иста

$$n_+ = n_- = n = \alpha \cdot n_0.$$

Во други случаи концентрациите се различни.

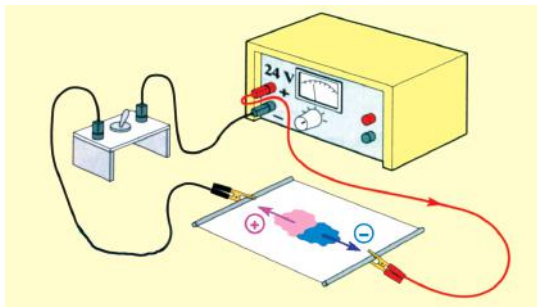
Степенот на електролитна дисоцијација зависи од *диелектричниот константа на течносита, концентрацијата на растворот, температурата и природата на растворената супстанција*.

Доколку електролитот се најде во надворешно електрично поле, ќе дојде до насочено движење на позитивните и негативните јони кон соодветните електроди што дава електрична струја. Електричното поле се наоѓа помеѓу *позитивниот електрода - анода* и *негативниот електрода - катодо* и има јачина која зависи пропорционално од приложениот напон, а обратнопропорционално од нивното меѓусебно растојание.

Вежба: Запиши ја равенката што произлегува од ова тврдење.

Позитивните јони се движат кон катодата која е негативна и се нарекуваат *катјони*, а негативните кон позитивната електрода - анода и се нарекуваат *анјони*. Кога ќе стигнат на соодветната електрода, се неутрализираат со испуштање на вишокот електрони, ако се анјони, или со примање на електрони, ако се катјони (електронски равенки). Неутрализираните јони кои со процесот на неутрализација стануваат неутрални атоми или атомски групи (кои ако не реагираат со вода се нестабилни и се распаѓаат на свои составни делови). Така можат да се таложат на соодветната електрода ако се метали кои не реагираат со вода или пак излегуваат од електролитот ако се гасови. Заради наведен-

ите ефекти во тек на течење на струјата концентрацијата на растворот се менува, а на електродите се издвојуваат чисти супстанции (Слика 81).



Слика 81. Позитивните јони - катјони примаат електрони од катодата и се неутрализираат. Негативните јони - анјони на анодата и предаваат електрони и на тој начин се неутрализираат. Испуштените и примените електрони преку електродите практично го затвораат струјниот круг

Дефиниција: Процесот на таложење на продукти од дисоцијацијата на соодветните електроди се нарекува **електролиза**.

Со теориска анализа споредена со експериментални резултати се доаѓа до единствени заклучоци:

Специфичниот отпор на електролитите зависи од степенот на дисоцијација, *концентрацијата, количеството електричество на јоните и нивната подвижност*. Со зголемување на температурата специфичниот отпор на електролитот се намалува, бидејќи се зголемува степенот на дисоцијација и подвижноста на јоните.

Отпорот на електролитот се определува според Омовиот закон: зависи право пропорционално со специфичниот отпор и површините на електродите, а обратно пропорционално со активната површина помеѓу нив.

Вежба: Запиши го горниот исказ со математичка формула.

Електролиза. Фарадеев закон за електролиза

Протекување на електрична струја низ електролити е проследено со издвојување на супстанција на соодветните електроди. За оваа појава се формулирани два **Фарадееви закони**.

Прв Фарадеев закон: Масата m на супстанцијата наталожена на електродата е право пропорционална со количеството елек-

тричество q кое поминало низ електролитот,

$$m = k \cdot q$$

каде k е коефициент на пропорционалност кој се нарекува **електрохемиски еквивалент**.

Дефиниција: **Електрохемискиот еквивалент** е бројно еднаков со издвоената маса на наталожената супстанција на една од електродите при протекување на количество електричество од еден кулон низ електролитот.

Ако масата се изрази во килограми (kg), количеството електричество во кулони (C), електрохемискиот еквивалент ќе се изразува во

$$\text{килограм по кулон} \left(\frac{kg}{C} \right).$$

Електрохемискиот еквивалент е константа која зависи само од природата на супстанцијата. Тој може лесно експериментално да се определи за што денес постојат табели со нивна вредност.

Ако при електролиза низ растворот протекува права постојана струја со јачина I во тек на време t , количеството електричество што ќе се размени на секоја од електродите е q , првиот Фарадеев закон може да се запише во облик

$$m = k \cdot I \cdot t$$

Вториот Фарадеев закон ја определува зависноста на електрохемискиот еквивалент од природата на супстанцијата и гласи: *Електрохемиските еквиваленти се обратно пропорционални со хемиските еквиваленти*.

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{z}$$

каде $\frac{1}{F}$ е константа на пропорционалност, а

$\frac{A}{z}$ е **хемиски еквивалент**. A е **атомска маса** која

се изразува во $\frac{kg}{mol}$ или $\frac{g}{mol}$, додека z е **валент-**

ност. Константата на пропорционалност е иста за сите супстанции и има вредност $1,037 \cdot 10^{-5} mol / C$. F се нарекува **Фарадеева кон-**

станта или **Фарадеев број** и изнесува $96480 \frac{C}{mol}$.

Двата Фарадееви закони можат да се обединат во еден чиј облик е

$$m = kJt = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{z} \cdot I \cdot t$$

Малку теорија: Теориски Фарадеевите закони можат едноставно да се изразат ако се тргне од атомската структура на супстанциите и дискретниот карактер на електричните полнежи на јоните. При размена на **количество електричество q** на електродите N јони разменуваат количество електричество $z \cdot q$ каде z е **валентност** на дадената супстанца, а e е **елементарно количество електричество**. Меѓу гореспоменатите физички величини постои врската

При неутрализацијата на електродата се задржува јон со **маса m_a** еднаква со количникот на **атомската маса на супстанцијата A** и **Авогадровиот број N_A** . Вкупната наталожена маса е

$$m = N \cdot m_a = \frac{1}{N_A \cdot e} \cdot \frac{A}{z} \cdot q = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{z} \cdot I \cdot t$$

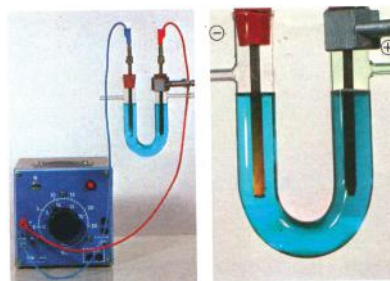
$$N = \frac{q}{z \cdot e}$$

Вежба: Спореди ја погоре дадената формула со новодобиената и најди го начинот на дефинирање на Фарадеевата константа, а потоа потсети се на вредностите на Авогадровиот број и елементарниот електричен полнеж и провери ја вредноста на Фарадеевата константа.

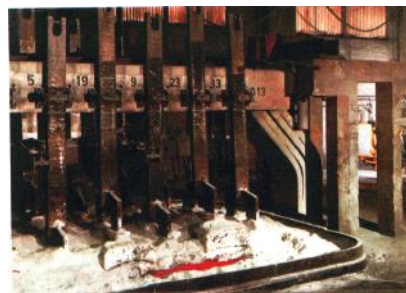
Електролизата има широка примена. Се користи за добивање на чисти елементи, метали итн. (Слика 82), во *галаностеџија* за препокривање на метални површини со слој од други метали (пониклување, поцинкување, побакрување, посребрување, позлатување, хромирање...) како и во *галаноиласџика* за добивање на релефни метални копии.



Слика 82: Електролиза на вода. Пропуштена струја низ електролитот довела до издвојување на кислород во десната цевка и на водород во левата



Слика 83: Лабораториска постројка за издвојување на чист метал и определување на електрохемиски еквивалент



Слика 84: Индустриска постројка за добивање на алуминиум

Да запомине:

- Електролитите се течности кои спроведуваат електрична струја;
- Слободни носители на електрични полнежи се катјони и анјони;
- Се добиваат, доколку молекулите на течноста се поларни со постапка на електролитна дисоцијација;
- Протекувањето на струјата низ електролитот не значи само пренесување на полнежи, туку и на определена маса;
- масата што се пренесува се определува со првиот Фарадеев закон;
- Вториот Фарадеев закон ја дава врската помеѓу електрохемискиот еквивалент и природата на електролитот: валентноста на јоните и атомската маса.

Несамостојно и самостојно електрично празнење низ гасови

Видовме дека од металите можеме да *избигваме електрони* доколку на електроните им се предаде доволно енергија потребна за излезна-

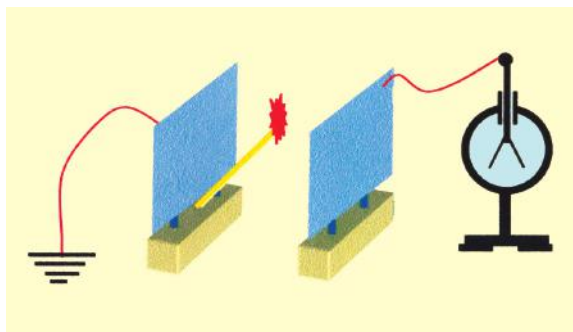
та работа. Електроните можат енергијата да ја добијат на најразлични начини: *загревање, озрачување, јако електрично поле...* Меѓутоа, металите не се ништо исклучително. Појавата на избивање е можна и кај други видови материјали, па дури и од *молекули на гасови*.

Електроните добиени на ваков начин стануваат носители на електричната струја. Меѓутоа, кај гасовите работите се усложнуваат. Избивањето на електроните од молекулите значи и истовремено создавање на позитивен преостанат дел од молекулата, така да сега покрај негативните создадени слободни електрони се добиваат и позитивни слободни носители на електрични полнежи.

Доколку во просторот каде постојат овие полнежи се воспостави електрично поле ќе дојде до насочено движење на полнежите и до појава на електрична струја во која со своето непосредно движење ќе учествуваат и двата вида на полнежи.

Заклучок: Во спроводливоста на гасовите учествуваат *негативни и позитивни јони*, како и *слободни електрони*. Спроводливоста на гасовите е *мешовита*.

Обид: Од две лимени плочи со димензии 15x20cm формираме плочест кондензатор. Плочите преку поливинилни мали цилиндри (изолатори) ги прицврстуваме на дрвени призми (Слика 85) Едната плоча ја сврзуваме со електроскоп, а другата ја заземжуваме (можеме да ја сврземе со бакарен проводник за чешма). Плочата сврзана со електроскопот, со помош на стаклена прачка претходно протриена со свилена крпа, ја наелектризираме позитивно. Некоје време уредот го оставаме да постои, а потоа меѓу плочите внесуваме запален кибрит (свеќа, лампа).



Слика 85: Гасот може да се јонизира со пламен. Температурата е над 2000°C

Експериментот го повторуваме со електризирање на плочата со помош на претходно наелектризирана ебонитна прачка.

Што ќе забележиме?

Додека меѓу кондензаторските плочи не внесеме кибритче, ливчињата на електроскопот остануваат еднакво раширени. Штом внесеме запалено кибритче, ливчињата на електроскопот се собираат, без оглед на тоа дали плочата претходно била позитивно или негативно наелектризирана.

Што се случило?

Во нормални услови *воздухот е изолиран*. Високата температура на пламенот прави да се создадат наелектризирани честици кои можат да бидат и *позитивни јони и електрони*. Хаотичното движење на добиени честици може да доведе до повремени среќавања и судирање со преостанатите неутрални молекули и создавање на единство меѓу нив и електроните и создавање на *негативни јони*.

Дефиниција: Процесот на претварање на неутрални молекули на гасовите во јони се нарекува *јонизација на гасови*.

При откинување на електроните од неутралните молекули како и во процесот на термојонски и фотолетричен ефект се врши работа и се троши енергија. Тоа е **работа за јонизација** или **излезна работа на електронот**. Таа работа се изразува во *електронволти*.

Дефиниција: *Електронволт* е онаа енергија што ја добива честицата што е носител на елементарно количество електричество откако ќе помине потенцијална разлика од еден волт.

Работата на јонизација не е иста за сите гасови. Зависи од *природата на гасот* како и од *надворешните услови* (на пр. *притисокот*).

Значаен начин на кој може да се врши јонизација на гасот е неговите молекули да се судрат со многу брзи честици. Тоа е т. н. *судирна јонизација*. Овој вид на јонизација можат да ја изведат честици кои влегуваат во состав на природните радиоактивни зрачења (алфа, бета и гама честици кои ги емитуваат на пр. уран, ториум) (Слика 86)

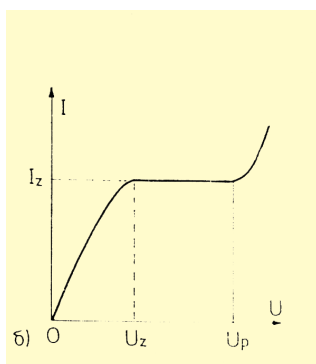


Слика 86: Јонизацијата во Гајгер - Милеровиот бројач ја вршат а честичи кои се составна компонента на природната радиоактивност

Сите овие видови на јонизации можат да создадат услови за *несамостојна сироволивост на гасови*, бидејќи условите за протекување на струја се поврзани со надворешни извори на енергија. Штом изворите престанат да дејствуваат процесот замира и струјата престанува да тече.

Дефиниција: Струја која постои во некој гас додека на неа делува некој јонизатор се нарекува *несамостојна струја*.

Ако ја снимиме *волтамперската карактеристика* на оваа електрична струја (Слика 87) ќе забележиме појава на *сатување* на струја.



Слика 87: Несамостојна струја се јавува за напони помали од пробивниот напон U_p . За поголеми напони од него започнува процесот на судирна јонизација како услов за појава на самостојна струја.

Појавата на ефектот на заситување се толкува со постигање на онаа вредност на напон U_z при кој воспоставеното електрично поле меѓу

електродите ги собира сите носители на електрични полнежи создадени во единица време и ги доведува до електродите во тек на единица време.

Забелешка: Јоните во гасовите не траат долго во гасовите. Под нормален атмосферски притисок спротивно наелектризираните јони се сврзуваат по 0,01 секунда.

Вежба: Размисли за настанатите состојби и одговори: зошто?

Дефиниција: Процесот на соединување на разноимените јони или на позитивни јони и електрони и повторно создавање на неутрални молекули се нарекува *рекомбинација*.

Процесот на рекомбинација е проследен со ослободување на енергија еднаква со она што е потрошена во процесот на јонизација, која особено е голема при рекомбинација на слободни електрони и позитивни јони. Во околината таа обично се манифестира како топлинска и светлинска енергија.

При јонизација може да настапи случај кога во секоја секунда од јоните се рекомбинираат исто толку молекули колку неутрални молекули, односно атоми, се разделиле на јони. велме дека настанала *динамичка рамнотежа*.

Брзината на движење на молекулите во електричното поле значително е поголема од брзината на јоните во електролитите. Пример:

При јачина на електрично поле од $1 \frac{V}{cm}$ јоните на водород во електролитот поминуваат

$0,0032 \frac{cm}{s}$, додека гасните јони при истиот пад

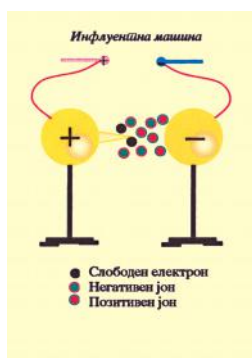
на напон поминуваат еден па и повеќе центиметри во секунда. Негативните јони се движат побрзо од позитивните. Утврдено е дека влажните јони имаат помала брзина од сувите јони. Јоните во воздухот се состојат во главно од молекули на азот и кислород кои во исто време можат да бидат носители и на позитивно и на негативно количество електричество, како и од мал број на слободни електрони и тешки јони.

Дефиниција: Струја која настанува и се одржува под влијание на судирна јонизација се вика *самостојна струја* или *самостојно електрично иравање*.

Судирната јонизација може да настане само кога јоните на гасот имаат некоја определена

енергија доволна да неутралните молекули ги преведе во *јонизирана состојба*. За тоа е потребно да се воспостави **пробивен напон** U_p .

Судирната јонизација во воздухот може да настане во воздух околу шилец (Слика 88) бидејќи околу него се содава јако електрично поле. Заради тоа шилецот силно ги одбива јоните на воздухот кои се истоимено наелектризирани јони, а ги привлекува разноимените. Заради тоа негативните јони, заради помалата маса, стекнуваат големи брзини и судирајќи се со неутралните молекули *лавинаобразно* создават нови парови од електрони и позитивни јони.



Слика 88; Шилецот е причина за создавање на јако нехомогено електрично поле кое го отпочнува и одржува процесот на лавинаобразно создавање на слободни електрични полнежи: електрони и позитивни јони.

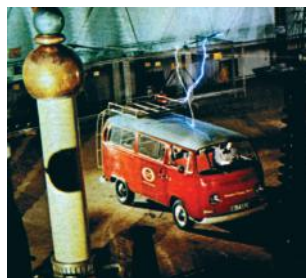
Наглата јонизација се случува при секое празнење во вид на *електрична искра*.

Важно: Искрата е електрично празнење што настанува при зголемен притисок на гасот и јако електрично поле меѓу електродите, познато како **критично електрично поле**. При нормален притисок, вредноста на критичното електрично поле изнесува $30 \frac{kV}{cm}$, а инаку зависи од **притисокот, температурата и природата на гасот**.

При нормален притисок под дејство на одделни случајни фактори, во гасот секогаш постои мал број на јони, па гасот го сметаме за изолатор. Меѓутоа, под влијание на јако електрично поле преку процес на *судирна јонизација* настанува создавање на голем број на јони чиј број расте по законот на геометриска прогресија (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 218, 256, 512, 1024, 2048, 4096, 8 192 ...)

Заклучок: За да настане процес на судирна јонизација, доволно е во воздухот да има само еден случаен електричен полнеж и јако електрично поле над критичната вредност

Времетраењето на искрата е ред големина 10^{-7} - 10^{-8} секунди. По некои теории се испоставува дека времето потребно за создавање на лавина е ред големина 10^{-4} - 10^{-5} секунди што е 100 до 1.000 пати подолго од времетраењето на искрата, така да нејзиното настанување не може да се објасни со постоење на само тој ефект.



Слика 89: Обид да се добие гром во лабораториски услови: потребен е напон од 100.000 V за да се добие искра меѓу кабелот и малиот автобус

Тука се вклучува теоријата за *стримери*, канали низ кои се врши празнењето. Стримерите можат да бидат позитивни и негативни во зависност од која електрода започнуваат да се формираат.

Во природата празнењето во вид на електрична искра има при појава на *гром* (Слика 90) и *молња*.



Слика 90: Критичното електрично поле формирано меѓу облаците и земјата е причина за појавата на гром

Громот го карактеризираат следниве величини:

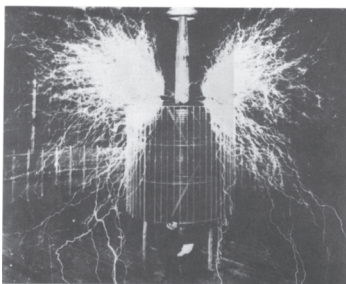
- напон меѓу облакот и земјата - 100.000.000 волти;

- јачина на струја - 100.000 ампери;

- пречник на каналот 10-20 центиметри;

- времетраење на громот - 10^{-6} секунди.

Во лаборатории можат да се произведат електрични искри што личат на мали гророви. (Слика 91)



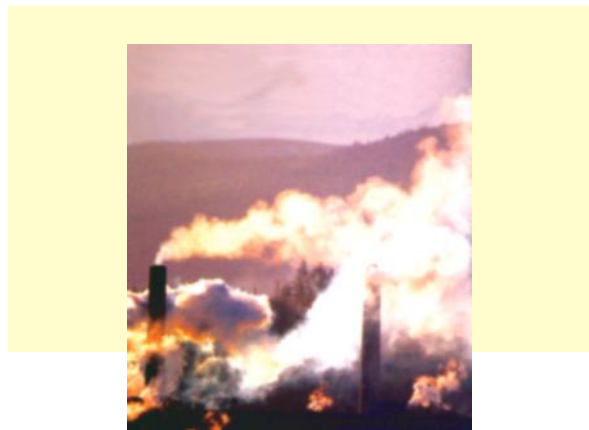
Слика 91. Во својата лабораторија Никола Тесла со помош на Теслин трансформатор добивал електрични искри долги и по неколку метри

Во практиката електрична искра се користи кај автомобили кои работат на бензин.



Слика 92: Автомобилските свеќички се уреди каде се добиваат корисни мали искри

Самостојно електрично празнење може да се појави во случај на несиметрични проводници: пример тенка жица и цилиндер, Поради јако и силно нехомогено поле во близина на жицата се забележува слабо светење околу жицата. Тоа слабо светење околу жицата каде полето е најјако е познато како *корона*. Истата појава може да се набљудува при доведен помал напон од критичниот помеѓу една шилеста и една плочеста електрода. Околу шилецот се создаваат светли јазичиња кои ја претставуваат короната.



Слика 93: Загаденото небо со отровни гасови и правот се резултат на работата на фабриките кои не користат електростатски филтри

Овој вид на празнење е штетно заради загуби на енергија при пренесување на енергија со далекуводи кои се под висок напон, меѓутоа, празнењето во вид на корона се користи за прочистување на гасовите од прав и чад исфрлани од фабричките оџаци. Уредите кои ја обавуваат таа работа се нарекуваат електростатички филтри. Празнењето со корона е во принципот на работење на Гајгер-Милеровиот бројач, уред за регистрирање на радиоактивни честици.

Да запомниме:

- Во стандардни услови гасовите се изолатори;
- Под влијание на надворешни фактори, т. н. јонизатори, можат да се создадат слободни електрични полнежи: позитивни и негативни јони и електрони;
- Под влијание на електрично поле во присуство на јонизатори постои самостојно електрично празнење;
- При доволно јако т.н. критично поле започнува процес на судирна јонизација што е услов за самостојно електрично празнење;
- Самостојните електрични празнења се природна појава (гром, молња, корона итн.), но и лабораториска доколку се обезбедат потребните услови појавата да се случи;
- Во секојдневието исто така електричното празнење е присутна појава.

2. Електрична струја

Да го провериме нашејто знаење

I. Одговори на прашањата

1. Што се електрични извори? Која физичка величина ги карактеризира?
2. Кои се задолжителни составни елементи на сложениот струен круг?
3. Колку вида на проводливост постои кај полупроводниците? Кои се тие?
4. Што е термоелектронска емисија? Од што зависи нејзиниот интензитет?
5. Како гласат Фардевите закони? Колку изнесува Фардеева константа?

II. Точно и неточно

1. Кај металните проводници покачувањето на температурата го намалува електричниот отпор.
2. При протекување на струја низ даден отпорник ослободеното количество топлина четири пати ќе се намали ако јачината на струјата двапати се зголеми.
3. Загревањето на чистите полупроводници им ја зголемува концентрацијата на електроните во однос на празнините.
4. Кај катодната цевка магнетниот отклонски систем служи за менување на интензитетот на електронскиот сноп.
5. Постојење на судирна јонизација е услов за самостојно празнење низ гасовите.

III. Заокружи го точниот одговор:

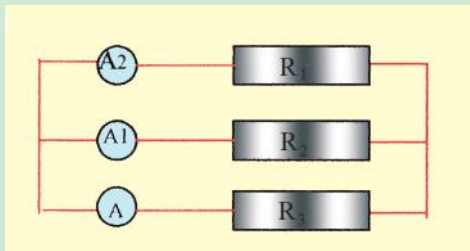
1. Кога низ проводник со определен термоген отпор протекува струја од $5A$ и создава пад на напон од $2kV$ велиме дека отпорот на проводникот изнесува:
а. $10k\Omega$ б. 400Ω в. $2,5k\Omega$.
3. Кај полупроводници од n -тип основни носители на проводливоста се:
а. празнини;
б. слободни електрони;
в. сврзани електрони.
4. Како инверзен процес на електролитна дисоцијација кај електролитите се одвива процесот на рекомбинација (молизација). Тоа е процес на присоединување и неутрализирање на:
з. слободни електрони и катјони;
б. анјони и слободни електрони;
в. анјони и катјони.
5. Светлата дамка на осцилоскопот се наоѓа на средината. На отклонскиот систем е приклучен:
а. синусоиден напон;
б. напон еднаков на нула;
в. постојан напон

Вежби и задачи

1. Колкав е еквивалентниот отпор на 5 еднакви отпорници сврзани во серија? Колкав ќе биде ако се сврзат паралелно? Каков заклучок можеш да изведеш ?

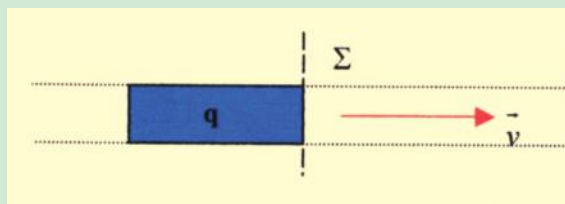
Одговор: $5R$; $R/5$; При сериско врзување се добива поголем отпор.

2. Во дадениот струен круг амперметарот A_1 покажува $3A$, амперметарот A_2 $2A$. Кои вредности може да ги покажува амперметарот A ?



Одговор: $1A$ и $5A$

3. (Задача за синтеза) Цилиндер со плоштина на напречен пресек $1mm^2$ и должина $1mm$ се придвижува со брзина v паралелно со својата оска.



а. Пресметај, како функција од брзината v колку време ќе се движи цилиндерот за да се помести за $1mm$, односно за да помине од другата страна на напречниот пресек.

б. Ако цилиндерот е наелектризиран со количество електричество q , пресметај ја како функција од q и v јачината на струјата што одговара на поместувањето на полнежот.

4. Густината на бакарот е $8900 \frac{kg}{m^3}$; еден мол атоми на бакар имаат маса од $63,5g$.

а. Колку електрони има во еден мол атоми и колку атоми на бакар има во $1m^3$ и $1mm^3$?

б. Колку слободни електрони има во $1mm^3$ од бакар и кое е нивното соодветно количество електричество?

Одговор: а) $1,74 \cdot 10^{25} \frac{el}{mol}$; $8,44 \cdot 10^{28} \frac{at}{m^3}$; $8,44 \cdot 10^{19} \frac{at}{mm^3}$ б) $\approx 8,44 \cdot 10^{19} \frac{el}{mm^3}$; $13,5C$

5. Колкав отпор треба да има електричен грејач приклучен на електрична мрежа со прав напон од $220V$ за да во него за време од $30min$ се ослободи количество топлина од $2MJ$?

Одговор: $43,56\Omega$

6. При индустриско производство на алуминиум со електролиза на раствор на Al_2O_3 протекува струја со јачина од $40kA$, при што напонската разлика меѓу плочите е $10V$. Определи за колку време ќе се наталожат $100kg$ алуминиум и потрошената електрична енергија притоа.

Одговор: $7,47h$; $1,072 \cdot 10^{10} J = 10,72GJ$

3. Магнетно поле

Магнетно поле на природни и вештачки магнети

Што е маѓнејизам?

Магнетизмот е откриен уште пред две и пол илјади години во античката покраина Магнезија по која и го добил името. Минералите со вакви својства (оксидите на железо Fe_3O_4) се наречени природни магнети - *йерманенјни маѓнејти*. Освен нив, во природата како природни магнети се Земјата во целина, Меркур, Сонцето и др.

Сите тела кои имаат својство да го заземаат привилегираниот правец север-југ, кога се во близина на Земјата или на нејзината површина се викаат *маѓнејти*. Овие тела имаат едно ново својство, кое не е во врска ниту со гравитационите сили, ниту со електростатските. Ние најчесто тие тела ги шематизираме како магнетна стрелка (магнетна игла). *Бусолајта* е направа која се состои од магнетна игла и баждарена кружна скала која ги содржи клучните точки. Во просторот каде владее магнетно поле, стрелката трпи дејство од страна на магнетното поле.

Денес во употреба се главно вештачки магнети кои најчесто се прават од челик, никел, кобалт и нивни легури, а се изработуваат во различни облици, зависно од намената (прачка, потковица и магнетна игла).

Дејството меѓу магнетите и супстанциите кои тие ги привлекуваат, настанува преку магнетното поле.

Просторот во кој се чувствува дејството на магнетот се вика *маѓнејно поле*.

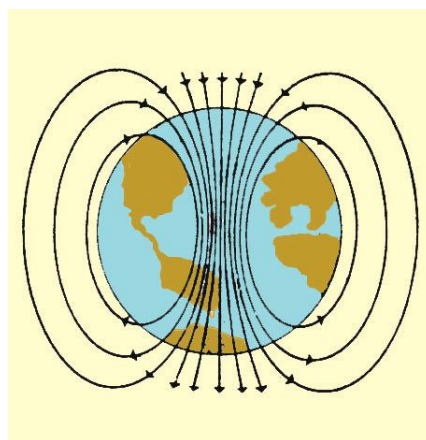
Природата на магнетното поле е многу посложена отколку природата на електричното поле.

Кои се извори на маѓнејното поле?

Геомаѓнејно поле - околу Земјата владее магнетно поле кое дејствува на магнетната стрелка. Земјата во целина се однесува како еден огромен магнет чиј јужен магнетен пол се наоѓа

на географскиот север (близу до Мелвилските острови), а северниот магнетен пол некаде на географскиот југ (јужно од Австралија).

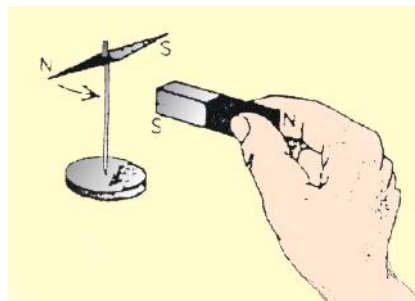
Северниот пол на магнетната игла, кој се ориентира према географскиот север, всушност, го покажува Јужниот Пол на Земјиниот магнет, а јужниот пол на магнетната игла го привлекува Северниот Пол на Земјиниот магнет (Слика 1).



Слика 1

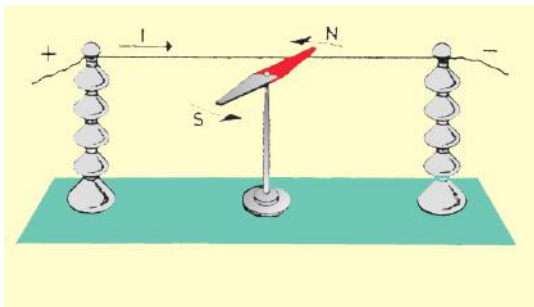
Со прецизни мерења е утврдено дека правецот на магнетната игла во целост не се совпаѓа со правецот север-југ, туку постои извесно отстапување. Величината на тоа отстапување е мерка за таканаречена *маѓнејна деклинација*. Таа е различна на различни места и се менува со текот на времето.

Маѓнејти - Ако прачкаст магнет се приближи до лесна магнетна игла, таа се отклонува, значи го регистрира постоењето на магнетното поле чиј извор е прачкастиот магнет (Слика 2)



Слика 2

Струи - Магнетната игла се отклонува во близина на проводник низ кој тече електрична струја. Значи струите создаваат магнетно поле во својата околина (Слика 3)



Слика 3

Магнетни полови - Ако перманентен магнет се приближи до ситни железни струготини, тие најмногу ќе се нафатат на неговите краеве, што значи дека дејството на магнетот не е еднакво на сите негови делови. Привлечното дејство најмногу се чувствува на неговите краеве кои се нарекуваат магнетни полови.

Сите магнети имаат два пола: *северен* и *јужен* пол.

Секој магнет претставува магнетен дипол со изразен северен и јужен пол кој со никаква делба на магнетот не може да изолира еден од друг пол.

Ако кон магнетната игла приближиме прачкаст магнет, ќе забележиме дека еден пол од магнетот го привлекува само едниот пол од магнетната игла, а другиот пол од магнетната игла го одбива.

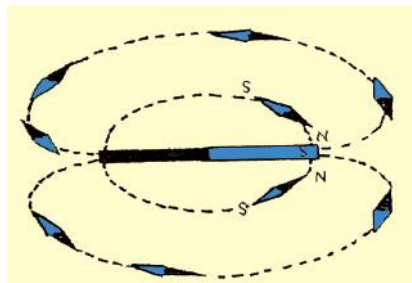
Разноимените полови се привлекуваат, а истоимените се одбиваат.

Магнетни силиви линии

Магнетно поле може да се направи видливо со помош на магнетни силиви линии. Ако над еден или повеќе магнети се постави стаклена плоча во хоризонтална положба на која се посипани железни струготини, ќе се забележи како тие ќе се распоредат во однос на магнетните полови.

Ако над струготините се постават лесни магнетни игли тие ќе се ориентираат во правец на тангентата на силивите линии.

Магнетните силиви линии се замислени линии кај кои смерот на тангентата во секоја точка се поклопува со насоката што го покажува северниот пол на магнетната игла (Слика 4).



Слика 4

Насоката и правецот на магнетните силиви линии на магнетното поле во дадена точка ја определуваат насоката и правецот на дејството на магнетното поле, а нивната густина интензитетот на полето во таа точка.

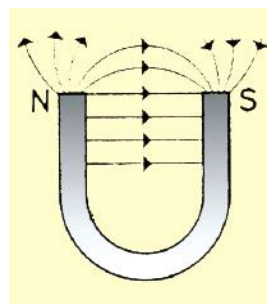
Магнетното поле е *векторско поле*, бидејќи во секоја точка има точно определен интензитет, насока и правец на дејствување.

Магнетните силиви линии што ги создава еден магнет, секогаш излегуваат од северниот пол, а влегуваат во јужниот пол и се затвораат внатре во самиот магнет.

Ваквата особина на силивите линии на магнетното поле битно се разликува во однос на силивите линии на електричното поле.

Зависно од густината на силивите линии, односно јачината на магнетното поле во различни точки од полето разликуваме: *хомогено* и *нехомогено* магнетно поле.

Хомогено магнетно поле е она поле каде јачината на магнетното поле е еднаква а силивите линии во тоа поле се паралелни. Такво поле се остварува кај потковичест магнет (Слика 5).



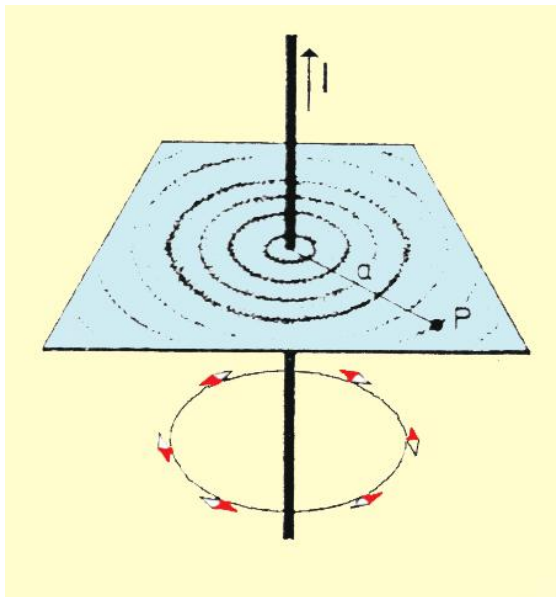
Слика 5

Нехомоџено магнетно поле е она поле каде јачината на магнетното поле во различни точки е различна. Такво поле се остварува кај прачкаст магнет.

Магнетно поле на прав проводник

Нормално на прав проводник низ кој тече електрична струја се стави картон на кој се посипуваат ситни струготини од меко железо, а во близина на проводник се постават неколку лесни магнетни игли (Слика 6).

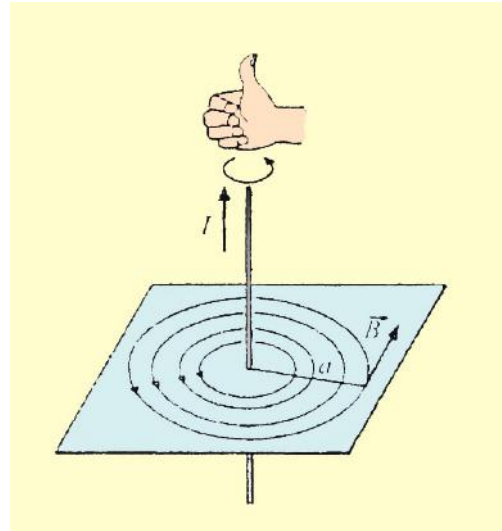
Кога ќе потече електрична струја струганиците ќе се подредат во концентрични кружници чиј центар е проводникот, а магнетните игли тангенцијално на нив во правец север-југ (N-S).



Слика 6

Ако картонот се придвижува долж проводникот, нема ништо да се промени. Ако се смени насоката на струјата, распоредот на струганиците не се менува, само магнетната игла ќе се заврти во спротивна насока - значи ќе се заврти за 180°. Оттука и идејата магнетното поле на струјата околу прав проводник да се претставува со концентрични кружници во рамнини нормални на проводникот и се нарекуваат магнетни силинии.

Нивната насока се определува по правило на десна рака или винт (Слика 7).



Слика 7

Магнетното поле го карактеризира величината **вектор на јачината на магнетното поле** (\vec{H}).

Мерна единица за $H = 1 \frac{A}{m}$

каде $I=1A$ и $R=1m$

Дефиниција: Сите точки од просторот кои од проводникот се оддалечени на растојание од $1m$, а низ проводникот тече струја од

2π Ампери имаат јачина $1 \frac{A}{m}$.

или:

Јачината на магнетното поле е $1 \frac{A}{m}$ (ампер

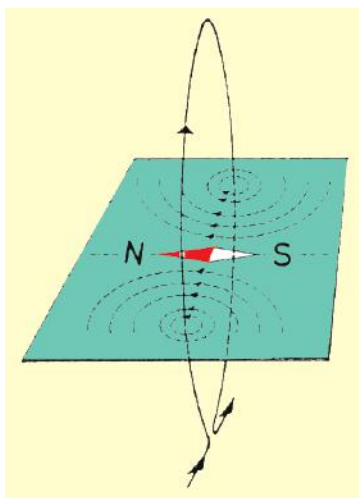
на метар) во точка која е на растојание $\frac{1}{2\pi}$

метри од проводникот низ кој тече струја со јачина од $1A$.

Законот по кој се определува јачината на полето во било која точка во просторот околу проводникот низ кој тече електрична струја, експериментално е откриен од француските физичари Био, Савар и Лаплас и е познат како **Био-Саваров и Лапласов закон**.

Магнетен лист

Истиот обид можеме да го направиме со кружен проводник со радиус R кој нормално го прободува картонот на кој се посипуваат железните струготини. Ориентирањето на магнетната игла која се поставува во средината, зависи од насоката на струјата (Слика 8).



Слика 8

Од распоредот на силовите линии може да се заклучи дека магнетното поле на кружниот проводник е сосема исто со магнетното поле на прачкест природен магнет со кружен пресек $R^2\pi$. Растојанието меѓу половите е колку еден лист хартија, поради што полето на кружен проводник е познато како *магнетен лист*.

Јачината на магнетното поле во центарот на кружниот проводник е:

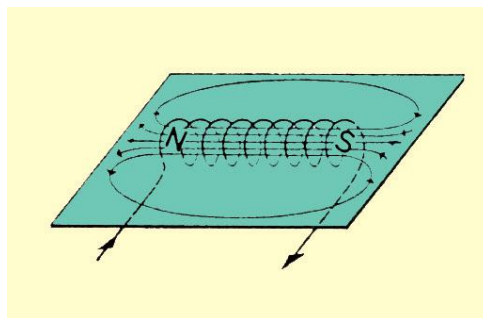
$$H = \frac{I}{2R}$$

Се мери со истите единици: $H = 1 \frac{A}{m}$

Магнетно поле на соленоид

Соленоидот претставува спирално намотан прав проводник. Намотките го прободуваат нормално поставениот картон со железни струготини. Под дејство на магнетното поле на електричната струја тие ќе се подредат така што во средината ќе бидат паралелни што покажува дека полето таму е хомогено. Соленоидот во

целост претставува прачкест магнет кај кој векторот на јачината на магнетното поле се совпаѓа со оската на соленоидот (Слика 9).



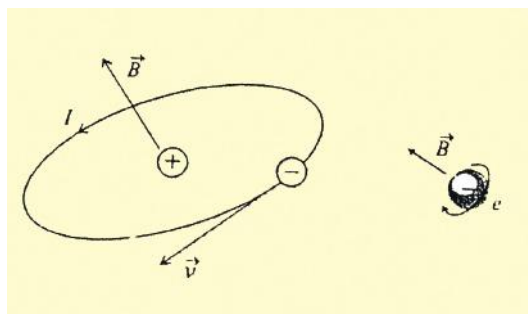
Слика 9

$$H = \frac{nI}{l}$$

Јачината на магнетното поле на соленоидот зависи пропорционално од бројот на намотките и јачината на струјата а обратнопропорционално од должината на соленоидот. Се мери во истите единици ($1A/m$).

Ерстед и Ампер врз основа на овие сознанија можеле да го формулираат одговорот на прашањето: што се тоа елементарни магнети, односно која е таа најмала количина на супстанција што покажува магнетни својства.

Паралелно со теорискиот развој на идејата за атомот, како најмала количина на супстанција во природата се развивале и моделите за градбата на атомот. Се дошло до модел според кој атомот се состои од позитивно наелектризирано јадро околу кое по строго приближно кружни патеки се движат негативно наелектризираните честици - електрони. Тоа движење на електроните по затворени патеки околу јадрото претставува електрична струја во кружен проводник-микроскопска струја (Слика 10)



Слика 10

Магнетизација

Магнетизација претставува ефект на магнетизирање на определени супстанции под дејство на магнетна индукција (инфлуенција).

Во немагнетизираните супстанции (меко железо или челик), елементарните магнети се распоредени хаотично, поради што тие не се однесуваат како магнети. Но кога таква супстанција ќе се најде во близина на перманентен магнет доаѓа до ориентација на елементарните магнети во нив во насока на магнетното поле што дејствува на нив (Слика 11, 12, 13 и 14) или нормално на него што зависи од природата на супстанцијата.

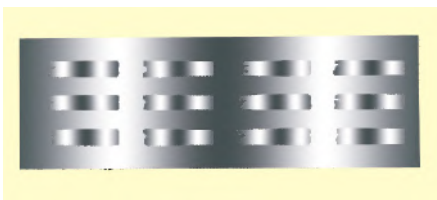
Запомни!

- елементарни магнети во природата се атомите на супстанциите;
- најмал магнет во природата е самиот атом;
- магнетното поле во природата може да се создаде само како резултат на движење на наелектризирани честички.

$$\vec{B} = \frac{\vec{F}_A}{Il}$$



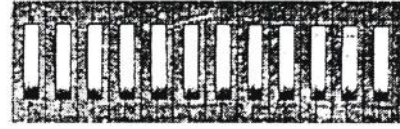
Слика 11



Слика 12



Слика 13



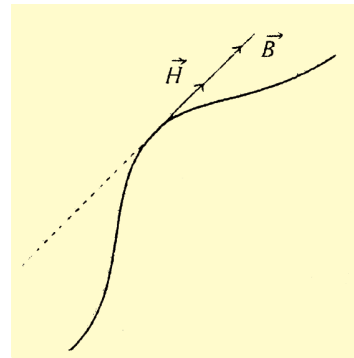
Слика 14

Магнетна индукција. Магнетен флукс

Магнетна индукција

Магнетна индукција е основна карактеристика на магнетното поле. Таа е *векторска величина* која ги определува магнетните сили на телото во полето. Векторот на магнетната индукција се бележи со \vec{B} и се совпаѓа по правец и насока со силите кои дејствуваат во полето и зависи од својствата на средината.

Правецот на векторот на магнетната индукција во секоја точка од магнетното поле е определен со правецот на тангентата во дадената точка на силовата линија во таа точка а смерот е определен со смерот на магнетното поле, односно смерот на магнетните силиви линии (Слика 15).



Слика 15

Интензитетот на векторот на магнетната индукција се определува од равенката за Амперова сила со која пошироко ќе се запознаеме подоцна:

од каде може да се добие единица за магнетна индукција 1Т (Тесла)

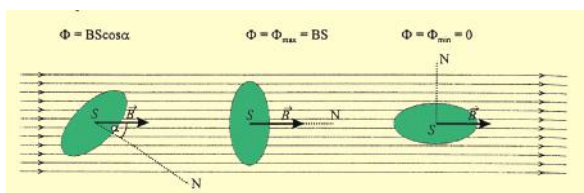
$$[B] = \frac{[F_A]}{[I] \cdot [l]} = \frac{N}{A \cdot m} = 1T$$

Дефиниција: Магнетното поле има индукција од 1Т ако тоа поле на проводник долг 1m низ кој тече струја јака 1А му дејствува со сила од 1N ако проводникот е поставен нормално на линиите на магнетното поле.

Магнетен флукс

За опишување на особините на физичкото поле практично е воведување на величината која се вика *флукс на физичкото поле* и која секогаш се дефинира во однос на некоја површина.

Флуксот на магнетното поле Φ (фи) низ дадена површина S е еднаков на производот од таа површина и магнетната индукција B , под услов, векторот на магнетната индукција да е нормален на дадената површина во однос на која го определуваме флуксот на магнетното поле (Слика 16).



Слика 16

Дефиниција: магнетната величина која се определува според бројот на линиите на магнетната индукција кои минуваат низ единица површина нормална на нивниот правец се вика **магнетен флукс**.

Магнетниот флукс има максимална вредност кога најголем број силинови линии на магнетното поле минуваат низ дадена површина.

Кога површината не е нормална на силивите линии (Слика 16), тогаш неговата вредност се пресметува според равенката:

$$\Phi = B_n \cdot S; \Phi = B \cos \alpha$$

каде:

Кога површината S е паралелна со правецот на магнетните силинови линии (Слика 16) аголот $\alpha = 90^\circ$ а $\cos 90^\circ = 0$ тогаш ниту една силова линија не минува низ површината според тоа $\Phi = 0$.

Мерната единица за магнетен флукс може да се изведе од равенката

$$[\Phi] = [B] \cdot [S] = 1T \cdot m^2 = 1Wb \text{ (Вебер)}$$

Јачина на магнетно поле

Величината **јачина на магнетното поле** се бележи со \vec{H} и таа е карактеристична величина на магнетното поле. Таа е векторска величина која се совпаѓа по правец и насока со векторот на магнетната индукција.

Модулот (интензитетот) на јачината на магнетното поле е право пропорционален со модулот на векторот на магнетната индукција во дадена точка од полето. За било која материјална средина во која постои магнетно поле, магнетната индукција е:

од каде:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu}$$

Од оваа равенка може да се заклучи дека бројната вредност на јачината на магнетното поле е помала за μ -пати во однос на бројната вредност на магнетната индукција.

- μ претставува *ајсолутиен магнетен пермеабилитет* (пропустливост) на супстанцијата.

Со други зборови, величината магнетна пермеабилност претставува способност на супстанцијата која се магнетизира со помош на надворешното магнетно поле.

Дефиниција: Магнетен пермеабилитет е величина која се мери со магнетна индукција што се создава во супстанцијата (магнетот) под дејство на магнетно поле

(со јачина)

Оваа величина за различни супстанции има различна вредност. Во равенката $B = \mu \cdot H$ таа се јавува како коефициент на пропорционалност меѓу величините B и H .

Ако магнетната индукција во вакуум ја означиме со B_0 тогаш следува дека

Со делење на овие две равенки следува:

$$\frac{B}{B_0} = \frac{\mu}{\mu_0} = \mu_r$$

Односот на магнетната индукција на кој и да е магнетик и вакуумот е еднаков на нивните магнетни пермеабилитети и е наречен *релативен*

пермеабилитет (μ_r) каде $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$ претставува магнетен пермеабилитет во вакуум.

Дефиниција: Релативниот магнетен пермеабилитет претставува неименуван број кој покажува колку пати магнетната индукција во некој магнетик (средина) е поголема или помала во однос на магнетната индукција во вакуум.

За вакуум и воздух $\mu_r = 1$.

Според тоа единицата за јачина на магнетното поле може да ја изведеме:

$$[H] = \frac{[B_0]}{[\mu_0]} = \frac{1T}{1T \frac{m}{A}} = 1 \frac{A}{m}$$

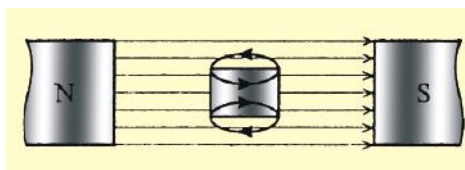
Пара, феро и дијамагнетици

Видовме дека различни супстанции различно се однесуваат во магнетното поле. Според тоа супстанциите (магнетици) можеме да ги поделиме во три групи: *дијамагнетни*, *парамагнетни* и *феромагнетни супстанции*. Дали една супстанција ќе се однесува како пара, дија или феромагнетна во надворешно магнетно поле ќе зависи од резултатното магнетно поле во самата супстанција. Тоа резултатно магнетно поле е резултат на векторскиот збир на магнетното поле на перманентниот магнет (надворешно магнетно поле) и индуцираното магнетно поле во самата супстанција.

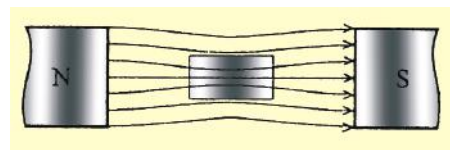
Дали една супстанција е *пара*, *дија* или *феромагнетна* зависи од бројот и распоредот на електроните во атомот.

Сите магнетни појави во супстанцијата, како што е силата помеѓу два магнета, е последица од движењето на електричните полнежи. Во атомите доаѓа до магнетни појави кои се резултат на кружните струи кои течат околу атомското јадро како и сопствената ротација на електроните.

Парамагнетизам е карактеристичен за супстанции кај кои електронските нивоа не се пополнети. Кај нив атомите имаат сопствен магнетен момент. Под дејство на надворешно магнетно поле моментот им се зголемува и тие се ориентираат во насока на полето. Во групата на парамагнетици спаѓаат: платина, алуминиум, хром, раствори на железни соли и др. Во магнетното поле тие слабо се магнетизираат и нивното (индуцирано) магнетно поле има ист смер со надворешното магнетно поле под чие дејство е создадено (Слика 17 и 18)



Слика 17



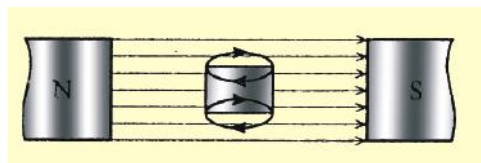
Слика 18

Резултантното магнетно поле во овие супстанции е малку појакно од надворешното, така што густината на магнетните силиви линии внатре во нив е поголема отколку во надворешното магнетно поле. За парамагнетниците $\mu_r > 1$ (поголемо или блиску до единица).

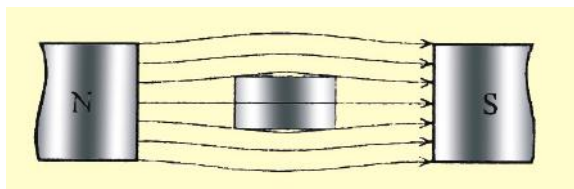
Значи, можеме да кажеме дека секој парамагнетик поставен во надворешно магнетно поле станува слаб магнет.

Дијамагнетизам е карактеристичен за супстанции кај кои електронските нивоа се пополнети. Кога таква супстанција се постави во надворешно магнетно поле, таа ќе се магнетизира, заради поместување на електронските нивоа и ротацијата на електроните. Тогаш во

атомот се индуцира магнетен момент и електроните заземаат положба која е спротивна на надворешното магнетно поле. Таквата супстанција се поставува нормално на силовите линии на магнетот (Слика 19 и 20).



Слика 19



Слика 20

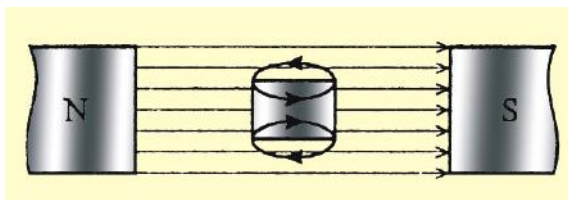
Поради тоа резултантното поле во внатрешноста на дијамагнетот е послабо од надворешното. За овие супстанции $\mu_r < 1$.

Во групата на дијамагнетици спаѓаат: бакар, бизмут, водород, цинк, сребро, злато и др.

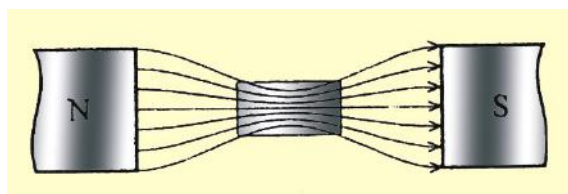
Кога пара или дијамагнетик се извади од магнетно поле, тој наполно се демагнетизира.

Феромагнетици. За разлика од пара и дијамагнетици, кога феромагнетна супстанција ќе се најде во надворешно магнетно поле, силно се намагнетизира. Феромагнетите го добиле името по латинскиот назив за железо (ферум).

Кога феромагнетната супстанција; железо, никел, кобалт или нивни легури ја поставиме во магнетно поле, степенот на магнетизирање на таквите тела заради нивната голема магнетна пермеабилност ќе биде многу поголем. Магнетната индукција им се зголемува 10000 до 80000 пати а кај некои легури и до 500.000 пати. Насоката на магнетното поле во нив е иста со насоката на надворешното магнетно поле (Слика 21 и 22).



Слика 21



Слика 22

Густијата на силовите линии во магнетикот е многу поголема отколку надвор од него. За феромагнетните супстанции $\mu_r \gg 1$ (μ_r многу поголемо од 1).

За разлика од пара и дијамагнетите, феромагнетите и по исклучување на надворешното магнетно поле во себе задржуваат извесен магнетизам наречен *реманентен магнетизам*, кој може да се отстрани со загревање на феромагнетот. За секој феромагнет постои т.н. *критична температура - Кирева точка* (во честа на францускиот физичар Пјер Кири) на која го губат реманентниот магнетизам. За железото таа температура е $t_k = 768^\circ C$. Ако феромагнетот се загрее на температура $t > t_k$, тој ќе се однесува како парамагнетик.

Кога феромагнетот ќе се најде во надворешно магнетно поле, при негова магнетизација се ориентираат цели области на спонтано подредени елементарни магнети.

Амперова сила

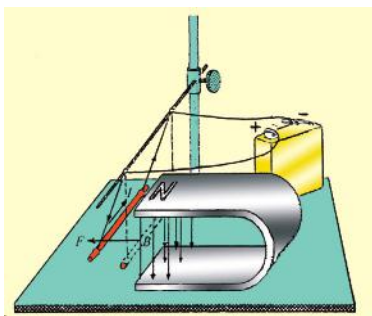
Францускиот физичар Ампер - Андре - Мари 1820 експериментално го потврдил взаемното дејство на проводник низ кој тече струја и перманентен магнет.



Слика 23

Во хомогено магнетно поле создадено меѓу половите на перманентниот магнет се поставу-

ва лесен проводник така да биде нормален на магнетните силиви линии (Слика 24).



Слика 24

Додека низ него не тече електрична струја, проводникот мирува. Во моментот кога ќе потече електрична струја, проводникот ќе се отклони или кон внатрешноста на магнетот или на надвор, што ќе зависи од насоката на електричната струја.

Причина за ваквата појава е взаемното дејство на магнетното поле на електричната струја и надворешното магнетно поле (полето на потковичестиот магнет).

Силата со која магнетното поле му дејствува на проводник со струја се вика **Амперова сила**.

$$F_A = B \cdot I \cdot l$$

Амперовата сила директно зависи од јачината на струјата I , како и од должината на проводникот l , а како фактор на пропорционалноста се јавува \vec{B} - магнетна индукција. Според тоа:

B - магнетна индукција

I - јачина на струјата

l - должината на проводникот

Оваа равенка важи само кога проводникот ги сече магнетните силиви линии под прав агол.

За определување на насоката во која ќе се отклони проводникот важи Флеминговото правило на левата рака:

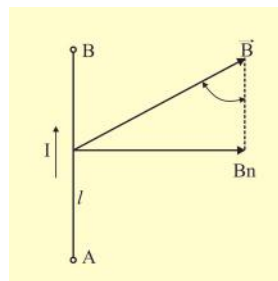
Трите прсти на левата рака: палецот, показалецот и средниот прст се поставуваат под агол од 90° . Ако показалецот го покажува правецот на векторот на магнетната индукција B , средниот прст насоката на струјата, тогаш проводникот ќе се отклони во правец на палецот (Слика 25).



Слика 25

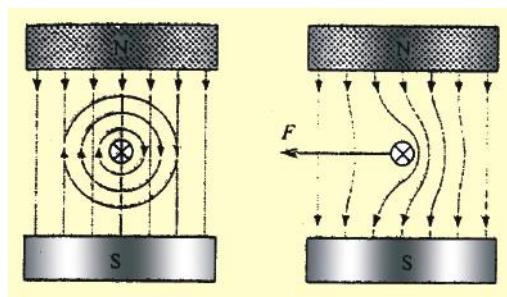
Ако проводникот ги сече силивите линии под агол различен од 90° тогаш Амперовата сила ќе гласи:

$$F_A = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$$



Слика 26

Придвижувањето на проводник со струја во магнетно поле е последица од взаемно дејство меѓу магнетното поле на струјата и магнетното поле на магнетот што може да се објасни преку графичкиот приказ на полињата (Слика 26).



Слика 27

На Слика 27 се гледа дека лево од проводникот силивите линии на магнетното поле на магнетот и магнетните силиви линии на полето на

проводникот се со спротивни насоки што го слабеа резултатното поле, додека десно од проводникот тие се со спротивни насоки, значи полето е појако. Како последица на тоа, појакото поле го потурнува проводникот кон послабото и тој се придвижува на лево.

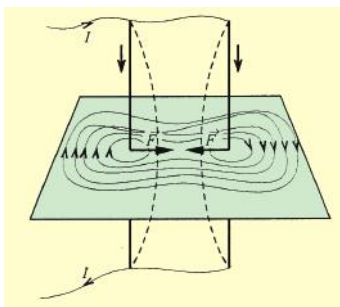
Заемно дејство на паралелни струи. Лоренцова сила

Заемно дејство на паралелни струи

Користејќи го знаењето за магнетно поле на прав проводник, можеме лесно да го објасниме заемното дејство на два паралелни проводници низ кои тече електрична струја.

Ако два паралелни проводници со струја ги поставиме на мало растојание, ќе забележиме дека тие заемно си дејствуваат. Ако проводниците се со мал пресек, а струјата е доста јака, тие или ќе се приближуваат или ќе се оддалечуваат. Ваквиот ефект е последица на заемното дејство на магнетните полиња што се создаваат во нивната околина, согласно Ерстедовите експерименти и заклучоци.

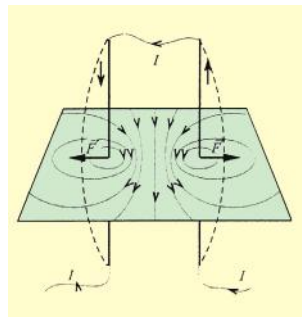
Ако струите во проводниците течат во иста насока (Слика 28) во просторот меѓу проводниците магнетните силиви линии имаат спротивна насока (согласно правилото на десна рака). Како резултат на векторското собирање (сложување) на овие полиња доаѓа до слабење на магнетното поле меѓу проводниците, а за сметка на тоа јакнење на надворешната страна, поради што проводниците ќе се привлекуваат.



Слика 28

Ако струите во проводниците течат во спротивни насоки (Слика 29), во просторот меѓу проводниците магнетните силиви линии имаат иста насока, поради што таму магнетното поле ќе

зајакне, а кон периферијата ќе ослаби. Поради тоа проводниците ќе се одбијат.



Слика 29

Ваквото заемно дејство на проводниците покажува дека тие си дејствуваат со некаква сила - Амперова сила која за првиот проводник кој дејствува врз вториот и обратно е:

$$F_1 = B_2 I_1 l$$

$$F_2 = B_1 I_2 l$$

Од порано знаеме дека јачината на магнетното поле за прав проводник е:

$$H = \frac{I}{2\pi d}$$

односно:

$$B = \mu_0 \frac{I}{2\pi d} \Rightarrow$$

јачината на силата на меѓусебно дејство на два паралелни проводници со струја во вакуум ќе гласи:

$$F_1 = \mu_0 \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{2\pi d} \cdot l - \text{силата со која дејствува}$$

првиот проводник врз вториот;

$$F_2 = \mu_0 \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{2\pi d} \cdot l - \text{силата со која дејствува вто-}$$

риот проводник врз првиот.

Следува дека силата со која првиот проводник дејствува на вториот е еднаква по модул и правец на силата со која вториот проводник дејствува на првиот само со спротивна насока (согласно III Њутнов закон).

Истата сила ќе се добие и кога струите течат во иста и во спротивна насока. Според тоа важи:

$$F = \mu_0 \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{2\pi d} \cdot l$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Tm}{A}$$

$$F_1 = 10^{-7} \cdot \frac{2 \cdot I_1 \cdot I_2}{d} \cdot l$$

Од оваа равенка може да се изведе единица за јачина на електрична струја - Ампер (1A):

Дефиниција: Јачина на струја од 1 ампер има онаа постојана струја која тече низ два паралелни проводници, бесконечно долги кои се наоѓаат во вакуум на растојание од 1m и на единица должина взаемно дејствуваат со сила од $2 \cdot 10^{-7} N$.

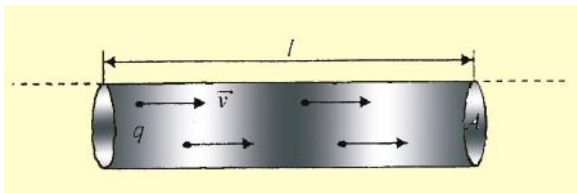
Лоренцова сила

Поаѓајќи од сознанието дека на проводник низ кој тече електрична струја во магнетно поле дејствува Амперова сила:

$$F_A = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$$

Лоренц го дава одговорот на прашањето како магнетното поле дејствува на слободните електрони кои насочено се движат во металните проводници.

Ќе набљудуваме дел од проводникот со должина l низ кој под дејство на електрично поле се движат слободни електрони со средна брзина v (Слика 30)



Слика 30

За време t низ напречниот пресек на проводникот со должина l ќе поминат N слободни електрони од кои секој од нив носи електричен полнеж q . Тогаш јачина на струјата во проводникот е:

$$I = \frac{N \cdot q}{t}$$

а бидејќи при рамномерно движење на електроните под дејство на електричното поле

$l = v \cdot t$; $t = \frac{l}{v}$ ќе следува:

$$I = \frac{Nq}{t} = \frac{Nq}{\frac{l}{v}}$$

Со замена во Амперовата равенка за сила следува:

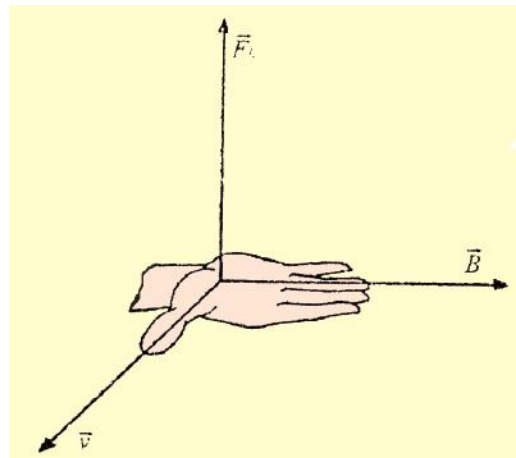
$$F = N \cdot B \cdot q \cdot v \cdot \sin \alpha$$

Тоа е сила со која магнетното поле дејствува врз електрони кои со брзина v минуваат низ должина l на проводникот.

Силата со која магнетното поле дејствува на секој електрон поединечно, се добива од:

$$F = B \cdot q \cdot v \cdot \sin \alpha$$

Оваа сила со која магнетното поле со магнетна индукција B дејствува на секоја наелектризирана честица со количество електричество q , која во магнетното поле влегува под агол α во однос на насоката на магнетните силиви линии се вика Лоренцова сила. Насоката на оваа сила ако станува збор за позитивна честица се определува со правилото на десна рака (Слика 31)



Слика 31

Испружените прсти го покажуваат правецот на магнетните силиви линии, палецот насоката на движење на наелектризираната честичка, а Лоренцовата сила е нормална на дланката.

Ако честичката е негативна, силата има спротивна насока.

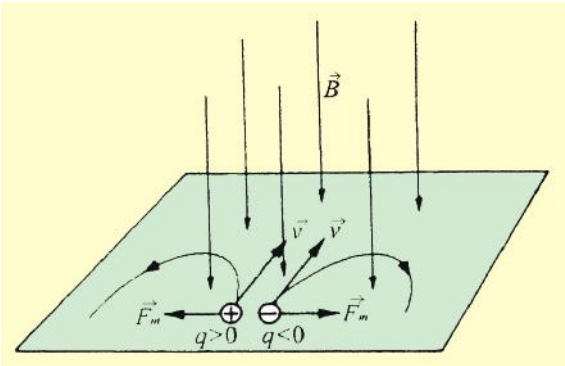
Согласно II Њутнов закон, под дејствата на Лоренцовата сила честичката ќе добие забрзување, кое има иста насока со силата:

Лоренцовата сила секогаш е нормална на правецот на брзината на движењето на честичките.

Движење на наелектризирани честички во хомогено магнетно поле

Зависно од аголот под кој честичката влегува во магнетното поле разликуваме:

а) кога честичката влегува нормално во однос на векторот на магнетната индукција \vec{B} (Слика 32).



Слика 32

Бидејќи аголот помеѓу правецот на векторот на брзината и магнетната индукција

тогаш Лоренцовата сила игра улога на центрипетална сила и на честичката и соопштува центрипетално забрзување.

Знаеме дека центрипеталното забрзување е:

$$a = \frac{v^2}{R},$$

а центрипеталната сила е:

$$F_c = \frac{mv^2}{R}.$$

Кога ќе ги изедначиме, ќе се добие радиусот на кружната траекторија по која ќе се движи наелектризираната честичка.

$$R = \frac{mv}{B \cdot q}$$

Заклучок: Кога наелектризираната честичка влегува (влетува) нормално во хомогено магнетно поле, се движи по кружна траекторија чиј радиус е пропорционален со импулсот на честичката ($m\vec{v}$) (количество движење), а обратно-пропорционално со магнетната индукција и количество електричество на честичката q .

б) Кога честичката се движи паралелно со векторот на магнетната индукција

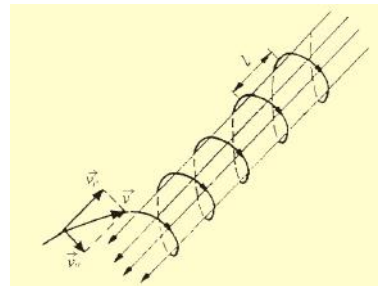
Во овој случај кога честичката влегува во магнетното поле со правецот на магнетните силиви линии, тогаш и затвораат агол $\alpha = 0^\circ$, па од Лоренцовата сила следува:

$$F_L = 0$$

Заклучок: Кога наелектризирана честичка влегува во хомогено магнетно поле со правец кој е паралелен со насоката на магнетните силиви линии, таа се движи рамномерно праволиниски, што значи магнетното поле нема влијание врз неа.

в) Кога честичката влегува под некој агол во однос на магнетното поле.

Во овој случај кога честичката влегува косо во магнетното поле, нејзината патека е спирална (Слика 33).



Слика 33

Ако векторот на брзината на честичката \vec{v} го разложиме на две компоненти: една во правец на магнетните силиви линии, а другата нормална на неа:

$$\frac{2\pi}{T} \cdot R = \frac{B \cdot q \cdot R}{m}$$

$$T = \frac{2\beta\pi \cdot m}{B \cdot q} = 1,05 \cdot 10^6 \text{ s}$$

тогаш движењето на честичката можеме да го набљудуваме како резултанта на овие две движења која претставува спирала чија оска е паралелна со магнетните силиви линии.

Заклучок: Кога честичката во хомогено магнетно поле влегува под некој агол, нејзината траекторија е спирална, а радиусот на спиралата е:

$$R = \frac{mv_n}{qB}$$

Сите овие случаи важат кога честичките се во движење. Може да се заклучи дека Лоренцовата сила дејствува само на наелектризирана честичка во движење.

Задача: Пресметај го периодот на движење на протон по кружница во хомогено магнетно поле на циклотрон со индукција 0,06Т (циклотрон е уред кој служи за забрзување на наелектризирани честици).

$$\vec{v}_p = \vec{v}_p \frac{B \cdot \vec{v}_p \cdot R}{m}$$

$$m_p = 1,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$B = 0,06 \text{ T}$$

$$T = ?$$

Решение: Од равенката за брзина при кружно движење добиваме:

$$v = w \cdot R = \frac{2\pi}{T} \cdot R$$

$$T = \frac{2\pi \cdot R}{v}; v = \frac{2\pi}{T} R$$

Ако се изедначи со горната равенка:

Магнетно поле

Да го провериме своето знаење

1. Каква величина е магнетната индукција и како се дефинира?
2. Што е тоа магнетен флуks?
3. Со која единица се мери магнетната индукција?
4. Со која единица се мери магнетниот флуks?
5. Која величина ги поврзува магнетниот флуks и магнетната индукција?
6. Како гласи Лоренцова сила ако наелектризираната честица се движи нормално на насоката на магнетното поле?
7. Како гласи правилото на десна рака за Лоренцова сила?
8. Дали секогаш на електронот дејствува магнетна сила во магнетно поле?
9. При влегување на електронот во хомогено магнетно поле кое има насока спрема запад, се движи вертикално нагоре: каква е насоката на лоренцовата сила?
10. Каква е патеката на наелектризирана честица која се движи нормално на магнетните силиви линии?
11. Каква е патеката на наелектризираната честица ако таа се движи паралелно на магнетните силиви линии?

Задачи

1. Колкава е јачината на струјата во даден проводник ако тој се повлекува со друг проводник паралелно на него со сила $F = 5 \cdot 10^{-3} N$. Должината на вториот проводник е $2m$ а низ него тече струја со јачина од $50A$. Растојанието меѓу нив е $12cm$. (Проводниците се наоѓаат во воздух).

Одговор: $I_2 = 20A$

2. Индукцијата на магнетното поле во точка која се наоѓа на растојание $4,5cm$ од праволиниски проводник низ кој тече струја е $2,8 \cdot 10^{-4} T$. Пресметај колку е јачината на магнетното поле во таа точка и јачината на струјата во проводникот!

Одговор: $2,2 \cdot 10^2 \frac{A}{m}$; $63A$

3. Да се определи модулот на јачината на полето во центарот на кружен проводник со $R=5cm$, ако низ него тече струја со јачина $I=5A$.

Одговор: $50 \frac{A}{m}$

4. Електрон со кинетичка енергија $100eV$ ($100 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} C \cdot V = 160 \cdot 10^{-19} J$) се движи во рамнина нормална на смерот на хомогено магнетно поле со индукција $3,1 \cdot 10H - 4T$.

а) Колкава сила дејствува на електронот?

б) Колкав е радиусот на кружницата што тој ја опишува?

$F = 3 \cdot 10^{-16} N$; $R = 0,107m$
Одговор:

5. Алфа честичка со маса $6,68 \cdot 10^{-27} kg$ и електрицитет од $+2e$ се забрзани со помош на циклотрон во кој индукцијата е $1,25T$.

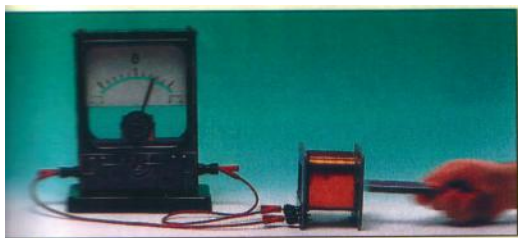
Колкава е брзината на алфа честичката и нејзината кинетичка енергија кога таа се движи по кружница со радиус од $25cm$?

Одговор: $v = 1,5 \cdot 10^7 \frac{m}{s}$; $E_n = 7,52 \cdot 10^{-13} J$

4. Електромагнетна индукција

Појава на електромагнетна индукција

Обид: Краевите од еден калем кој се состои од голем број на навивки од изолирана бакарна жица ги врзуваме на клемите на осетлив галванометар, а потоа прав перманентен магнет доближуваме до калем, придвижувајќи го долж оската на калемот. (Слика 1).



Слика 1: Придвижувањето на перманентниот магнет е причина за отклонувањето на стрелката на галванометарот

Доколку северниот пол на магнетот е поблиску до калемот: а галванометарот, кој сега е во улога на волтметар, има скала со нула на средината на скалата, ќе забележиме позитивен отклон.

Ако постапката ја повториме, доближувајќи го магнетот кон соленоидот со неговиот јужен пол на скалата, од галванометарот ќе се појави негативен отклон (стрелката наместо на десно се отклонува на лево).

Појавата можеме да ја набљудуваме придвижувајќи го магнетот долж оската на калемот во насока на одалечување: прво држејќи го северниот пол на магнетот поблиску до калемот, а потоа јужниот.

Се ќе се случи обратно во отклонувањето на стрелката отколку во случајот на приближување.

Вежба: Што ќе се случи ако магнетот остане неподвижен во однос на калемот?

Заклучок: Со придвижување на магнетот во однос на калемот се добива електрична струја.

Насоката на индуцираната струја зависи од насоката на движење на магнетот и од поставеноста на половите на магнетот во однос на калемот.

Користејќи ја истата поставка, целиот експеримент можеме да го повториме на тој начин што магнетот ќе го прицврстиме на статив, а калемот ќе го придвижуваме во однос на магнетот. Отклоните на стрелката, пак ќе се јавуваат по истата логика. Десен отклон се појавува кога калемот се доближува до северниот пол и се оддалечува од јужниот пол, а лев отклон се појавува кога северниот пол се оддалечува, а јужниот се доближува до калемот.

Забелешка: Перманентниот прачкест магнет како извор на магнетно поле можеме да го замениме со *електромагнет*. Во тој случај е потребно низ соленоидот да тече права постојана струја. *Правилото на десна рака* ја определува поставеноста на северниот и јужниот пол.

Да се потсетиме: Ако свитканите прсти на десната рака ја покажуваат насоката на електричната струја, тогаш испружениот палец ја покажува насоката на магнетните силиви линии. (Слика 2).

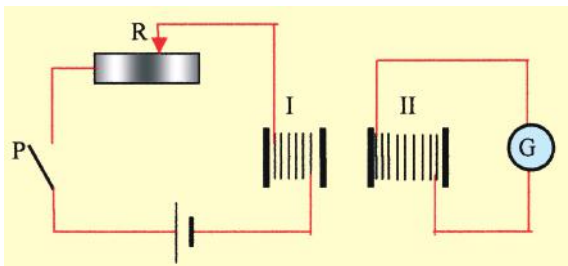


Слика 2: Правилото на десна рака е применливо за секој проводник, со било каква форма, кога низ него тече струја

На овој начин добиваме струја со помош на магнетно поле.

Дефиниција: Струите добиени со помош на магнетно поле се нарекуваат *индуцирани струи*, а појавата се нарекува *електромагнетна индукција*. Електромоторната сила која е побудувач на струите се нарекува *индуцирана електромоторна сила*.

Обид: Поставуваме апаратура според шемата дадена на (Слика 3). Во струјниот круг на електромагнетот кој се состои од калем 1 со голем број на навивки од изолирана жица и јадро од меко железо сврзуваме реостат R . Калемот 2 кој се состои исто така од голем број на навивки од изолирана жица го ставаме во близина на калемот 1 така да имаат заедничка оска или уште подобро заедничко јадро. Краевите на калемот 2 ги сврземе со галванометар G . Калемот 1 кој освен со реостатот е сврзан и со изворот на права постојана струја B го нарекуваме *примарен калем*, а неговиот струен круг *примарен круг*, додека калемот 2 е *секундарен калем*. Со реостатот R ја зголемуваме јачината на струјата во примарниот струен круг а со тоа и низ примарниот калем. Стрелката на галванометарот се отклонува во една насока. Ако пак ја намалуваме јачината на струјата низ примарниот калем стрелката на галванометарот се отклонува во спротивна насока.



Слика 3: Заемната индукција е појава на добивање на струи во секундарен калем, заради промени на јачина на струја во примарен калем

Ефектот ќе биде поизразен ако во внатрешноста на калемот е ставено и јадрото од меко железо. Зошто?

Заклучок: Промената на јачината на струјата во примарниот струен круг предизвикува појава на струја низ секундарниот калем. Причина за појава на струјата е формираното променливо магнетно поле

во примарниот калем: Значи, во секундарниот струен круг се добиваат индуцирани струи.

Заклучок: Со менување на јачината на струјата во примарниот калем се менува јачината на неговото магнетно поле. Промените на јачината на магнетното поле се причина за појава на индуцирани струи.

Забелешка: Поставената апаратура може да се искористи за добивање на индуцирани струи со постапка на вклучување и исклучување на примарното струјно коло преку прекинувачот P .

Важна забелешка: Често пати се зборува за индуцирани струи. По правилно е да се каже *индуцирани напони* или *индуцирани електромоторни сили*. Индуцираните струи се само последица на индуцираните напони, односно индуцираните електромоторни сили во случај на затворени струјни кругови. На прв поглед ни се чини дека за добивање на индуцирани струи најважно е проводникот да се движи. Меѓутоа, битно е да се менува магнетниот флукс што го опфаќа струјниот круг во кој се наоѓа проводникот.

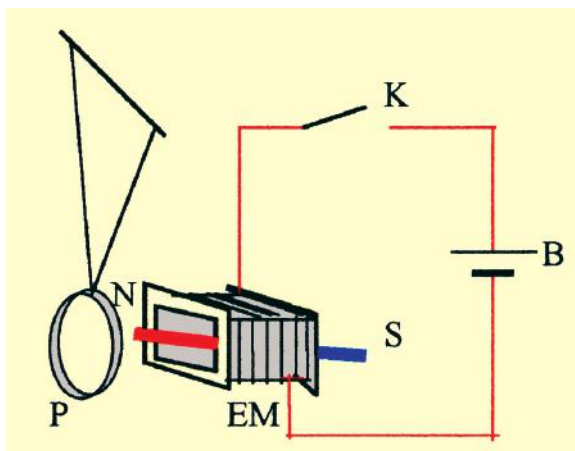
Да запомниме:

- магнетното поле е причина за појава на индуцирани струи;
- струите се добиваат со релативно придвижување на проводникот во кој се врши индукцијата и изворот на магнетното поле или со промена на јачината на струјата во примарниот струен круг;
- насоката на индуцираната струја зависи од насоката на движење на проводникот или од поведението на јачината на струјата, нејзиното растење, односно опаѓање;
- промената на магнетниот флукс е основната причина за појава на индуцираните струи.

Закон за електромагнетна индукција

Насока и големина на индуцираниот напон (електромоторна сила)

Обид: За да ја определеме насоката на индуцираната струја, користиме апаратура како на сликата (Слика 4). Користиме бифиларно (на два конца) обесен алуминиумски прстен, поставен пред јак електромагнет. Калемот на електромагнетот EM е во улога на примарен калем, а алуминиумскиот прстен во улога на секундарен калем направен од само една навивка.



Слика 4: Апаратурата служи за да се утврди насока на индуцираните струи

Експериментот го реализираме така да најпрво ја зголемуваме, а потоа ја намалуваме јачината на струјата низ калемот. Може тоа да го направиме и со вклучување и исклучување на примарниот струен круг.

Забележуваме дека во случај на засилување на струјата, прстенот се оддалечува од калемот, а во случај на слабеење, се доближува. Засилување на струјата значи зголемување на магнетниот флукс, а ослабнувањето на струјата, значи намалување на магнетниот флукс.

Вежба: Ако веќе сме запознаени со магнетните својства на калемите низ кои тече електрична струја, размисли и одговори зошто двата калема во првиот случај се оддалечуваат (одбиваат), а во вториот случај се доближуваат (привлекуваат)?

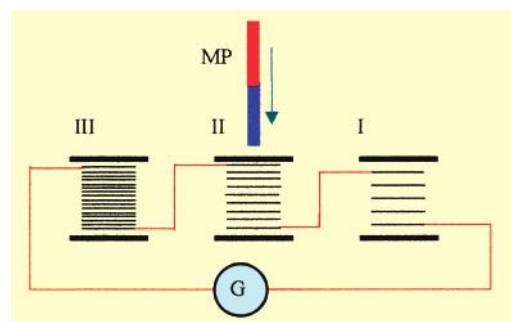
Заклучок: Индуцираните струи имаат такви насоки да создаваат магнетни полиња со кои настојуваат да ги попречат промените на магнетниот флукс.

Овој заклучок во физиката е познат како **Ленцово правило** и може поопшто да се искаже: *индуцираниот струја секогаш има таква насока да се стреми да ја поништи причината која довела до нејзино создавање.*

Ако насоката на течење на струјата во примарната навивка ја земеме како позитивна, ќе забележиме дека зголемувањето на флуксот $+\Delta\Phi$ ќе предизвика негативна индуцирана струја, односно негативен индуциран напон $-U$, додека намалувањето на магнетниот флукс предизвикува позитивна индуцирана струја, односно позитивен индуциран напон $+U$.

За насоката на индуцираната струја во калемите важи **правилото на десна рака**: Ако со десна рака се опфати калемот на секундарот така да испружениот палец покажува спротивна насока од насоката на магнетното поле во примарот во случај кога магнетниот флукс се зголемува, а иста насока со магнетното поле во примарот кога магнетниот флукс се намалува, тогаш свитканите прсти ја покажуваат насоката на индуцираната струја.

Обид: Формираме секундарен струен круг од калеми I, II и III со 250, 500 и 1.000 навивки сврзани сериски и галванометар G со нула во средината на скалата и тром отклонски систем (училиштен демонстрационен галванометар) (Слика 5). Магнетната прачка MP нагло ја внесуваме во празнината на калемот со 250 навивки. Го отчитуваме отклонот, а потоа истото го направиме при внесување на магнетот во празнините на калемите со 500 и 1.000 навивки.



Слика 5: Големината на индуцираната струја е пропорционална со бројот на навивките во секундарниот калем

Забележуваме дека отклонот двапати се зголемува за случај на вториот калем, а четирипати во случај на третиот калем.

Вежба: Каков заклучок може да се извлече за зависноста на големината на индуцираната струја и електромоторна сила и бројот на навивките на калемот според резултатите од овој експеримент?

Експериментот го повториме менувајќи ја брзината на внесување на магнетот во внатрешноста на калемите. Забележуваме дека со зголемување на брзината на внесување на магнетната прачка во внатрешноста на калемите, се зголемува отклонот кај галванометарот.

Вежба: Зошто во експериментот постапката на утврдување на зависноста ја изведуваме со калемите сврзани во серија, а не со поединечно сврзување на калемите?

Експерименталните резултати се оформени како **Фарадеев закон (слика на Мајкл Фарадеј) за електромагнетна индукција:** Ако електромоторната сила ја изразиме во волти (V), времето во секунди (s), а магнетниот флукс во вебери (Wb) се добива следниов математичкиот облик на **закон за индукција:**

Вежба: Изразете го законот за индукција со зборови!

Напонот што се индуцира на краевите од една навивка е определен со равенката

$$U = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Величината $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ се нарекува **брзина на промена на магнетниот флукс.**



Слика 6: Мајкл Фарадеј (1791 - 1867)

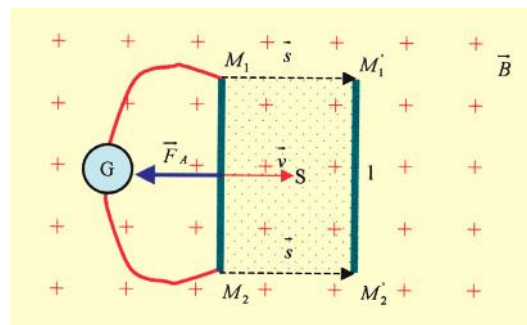
Вежба: Изразете го со зборови законот за индуциран напон на краевите на една навивка!

Да запомниме:

- Насоката на индуцираната струја е определена со Ленцово правило;
- Ленцовото правило во практиката е преточено во правило на десна рака;
- големината на индуцираната електромоторна сила зависи право пропорционално од бројот на навивките на калемот;
- големината на индуцираната електромоторна сила зависи од брзината на промена на магнетниот флукс.

Големина на индуцирана електромоторна сила во ѝрав ѝроводник кој се движи

Разгледуваме конкретна зависност на индуцираната електромоторна сила \mathcal{E}_i на крави на прав проводник со должина l , кој се движи рамномерно праволиниски со брзина \vec{v} во константно хомогено магнетно поле со индукција \vec{B} , што е доста чест случај и најлесен за математичка обработка (Слика 7). Притоа проводникот ги сече магнетните силиви линии под прав агол што на цртежот е дадено преку поставеноста на магнетното поле. Точките ги означуваат магнетните силиви линии кои се нормални на рамнината на цртежот и насочени кон нас. Движењето на проводникот со постојана брзина во хомогено магнетно поле дава и постојана брзина на промена на магнетниот флукс.



Слика 7: Шема на проводник со должина l кој се движи рамномерно праволиниски со брзина v во хомогено магнетно поле со магнетна индукција B нормално на силивите линии на полето

Каков заклучок можеме да изведеме за големината на индуцираната електромоторна сила, повикувајќи се на законот за индукција?

Согласно со Омов закон во вакви услови во затворена контура, составена од подвижниот проводник, два проводника за врска и галванометар, ќе тече струја со постојана јачина. Насоката на индуцираната струја во овој случај се определува според *правилото на десна рака*:

Ако дланката на десната рака ја поставиме така да силовите линии на хомогеното магнетно поле ја прободуваат дланката, вектор \vec{B} , а испружениот палец ја покажува насоката на движење на проводникот, вектор \vec{v} , тогаш испружените прсти ја покажуваат насоката на индуцираната струја I .

Малку теорија за појаснување на формулата: $\varepsilon_i = -B \cdot l \cdot v$.

Со дејство на некоја надворешна сила проводникот се поместува во хомогено магнетно поле при што под дејство на Лоренцовата сила врз слободните електрони во внатрешноста на проводникот доаѓа до нивно придвижување кон точката M_1 и остварување на техничката насока на струјата од M_1 кон M_2 . Значи, низ проводникот што се движи тече струја. Врз таквиот проводник, кој се наоѓа хомогено магнетно поле и се движи со постојана брзина, делува константна Амперова сила чија јачина зависи од јачината на струјата I , должината на проводникот l и големината на магнетната индукција на хомогеното магнетно поле B .

$$F_A = B \cdot I \cdot l$$

Насоката на Амперовата сила е спротивна од насоката на движење на проводникот, така да за да се одржува брзината на движење надворешната дејствувачка сила мора да биде еднаква по големина, но спротивна по насока со Амперовата сила

$$\vec{F}_n = -\vec{F}_A$$

Со оглед на тоа дека силата \vec{F}_n дејствува во иста насока со брзината \vec{v} и поместувањето \vec{s} извршената работа на надворешната сила ќе биде позитивна

$$A_n = \vec{F}_n \cdot \vec{s} \Rightarrow$$

Во случај на изолирани системи, каков што е нашиот струен круг, работата на надворешните сили се претвара во потенцијална енергија W_p која е енергија на изворот електричната струја.

$$A_n = W_p$$

Дефиниција: Електромоторната сила ε на електричниот извор се определува како количник од работата што ја вршат надворешни неелектрични сили A_n за пренесување на позитивен полнеж q внатре во изворот од точка со понизок потенцијал M_1 со потенцијал V_1 кон точка со повисок потенцијал M_2 со потенцијал V_2 наспроти силите на електричното поле и количеството електричество што се пренесува q .

$$\varepsilon_i = \frac{A_n}{q} = \frac{+F_n \cdot s}{q} = -\frac{B \cdot I \cdot l \cdot v \cdot t}{I \cdot t} = -B \cdot l \cdot v$$

Искористивме: закон за поместување при рамномерно праволиниско движење $\vec{s} = \vec{v} \cdot t$ и законот за јачина на права постојана струја

Заклучок: Големината на индуцираната електромоторна сила на краевите од правиот проводник кој се движи рамномерно во хомогено магнетно поле зависи пропорционално од големината на магнетната индукција на полето, должината на проводникот и брзината со која тој се движи.

Ако магнетната индукција се изрази во тесли (T), јачината на струјата во ампери (A), а должината во метри (m), електромоторната сила се добива во волти (V).

За случај кога проводникот во тек на движењето ги сече магнетните силиви линии под агол α големината на индуцираната електромоторна сила е определена со равенката:

$$\varepsilon_i = -B \cdot l \cdot v \cdot \sin \alpha$$

До истата равенка може да се дојде ако се тргне и од Максвел-Фарадеевиот закон.

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Разгледуваната промена на флуксот претставува разлика од вредностите на флуксевите во крајниот временски момент t_2 и почетниот временски момент t_1 од разгледуваното движење, кои го ограничуваат временскиот интервал $\Delta t = t_2 - t_1$, односно $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$; каде $\Phi_1 = B \cdot S_1$ и $\Phi_2 = B \cdot S_2$. За $\Delta\Phi$ добиваме:

Со замена во Максвел-Фарадеевиот закон добиваме:

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{B \cdot l \cdot v \cdot \Delta t}{\Delta t} = -B \cdot l \cdot v;$$

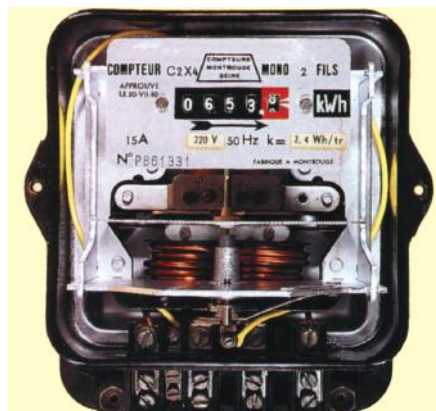
$$\varepsilon_i = -B \cdot l \cdot v.$$

Знакот минус во формулата го потврдува **Ленцовото правило**. Во случај на подвижен проводник се дефинира **Максвелово правило**: струјата што се индуцира има таква насока што настојува да го попречи движењето на проводникот. Имено, насоката на индуцираната струја е во склад со **законот за зачувување на енергија**. Кога струјата би ја имала спротивната насока, самата струја преку Амперовата сила би го потпомагала движењето на проводникот и така би добивале електрична енергија без еквивалентна потрошувачка на механичка енергија. Тоа не е можно. Според тоа, Максвеловото и Ленцовото правило за насоката на индуцираната струја се само последици на **законот за зачувување на енергија**.

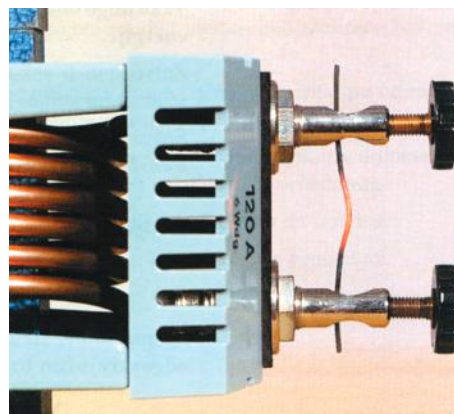
Воопшто, причината за појавата на индукцијата е промена на флуксот која секогаш се должи на причини кои се надвор од струјното коло.

Забелешка: Индуцираните струи се јавуваат и во масивни проводници. Струите што се јавуваат во масивните проводници заради процесот на индукција се нарекуваат *вишелни (врџложни, виорни) или Фуколови струи*. Тоа се струи кои се несакани во железните јадра на генераторите, моторите и трансформаторите. Но вртложните струи можат корисно да се употребат; кај електричниот бројач на потрошена електрична енергија (Слика 8) Принципот на работа е сличен како на Фуковото нишало. (Ако ве интересира нешто повеќе за нишалото, сами откријте во други учебници.) Вителните струи

можат да се употребат за погон на некои електромотори и за заочно движење кај некои електрични инструменти, или како извори на топлина кај индукционите печки.



Слика 8: Традиционален бројач во чиј принцип на работа е електромагнетната индукција



Слика 9: Метална прачка сврзана на краевите од секундарниот калем е вжештена. Секундарниот калем се состои од мал број на навивки. Кај индукционите печки постои само една навивка во секундарот; металот што се топи.

Да запомниме:

- Големината на индуцираната струја во случај на подвижен проводник во хомогено магнетно поле зависи од магнетната индукција, од должината на проводникот, од брзината на движење и од аголот под кој проводникот ги сече силовите линии;
- За големината на индуцираната струја важи Фарадеевиот закон за индукција;

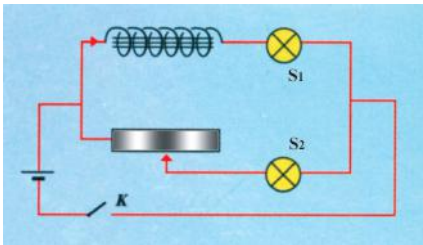
- индукцијата е во потполна согласност со Ленцовото правило, Максвеловото правило и општиот закон за запазување на енергија.

Самоиндукција

Видовме дека при промена на јачина на струја во примарното коло се добива електрична струја во секундарното струјно коло. Оваа појава е позната како *појава на взаемна индукција*.

Меѓутоа, при промена на јачина на струја во даден проводник можно е сопственото променливо магнетно поле да биде причина за појава на индуцирана електромоторна сила на краевите од проводникот во согласност со Максвеловото правило. Оваа појава на добивање на индуцирани струи под влијание на сопствено промениливо магнетно поле се нарекува *самоиндукција*.

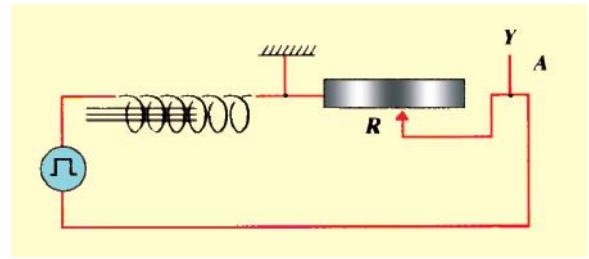
Обид: Составуваме струен круг според шемата на (Слика 10). Тој се состои од две гранки: во едната се наоѓа соленоид L со јадро од меко железо и светилка S_1 , а во другата реостат и светилка S_2 . Отпорот во двете гранки е така подесен да двете светилки светат со ист сјај кога во кругот тече права постојана струја. Тоа е можно само ако соленоидот и реостатот имаат сосема ист електричен отпор, а светилките се индентични.



Слика 10: По затворање на струјниот круг прва засветува светилката S_1 . При отворање на струјниот круг прва се гаси светилката S_2 .

При затворање на прекинувачот K светилката S_1 веднаш засветува со полн сјај, а светилката S_2 полака се усвитува.

За да ги откриеме причините за ваквото однесување, ќе направиме нов струен круг (Слика 11). Струјниот круг се напојува со помош на извор, кој дава еден правоаголен напон што е еквивалентно со можност за последователно автоматско затворање и отворање на струјниот круг.

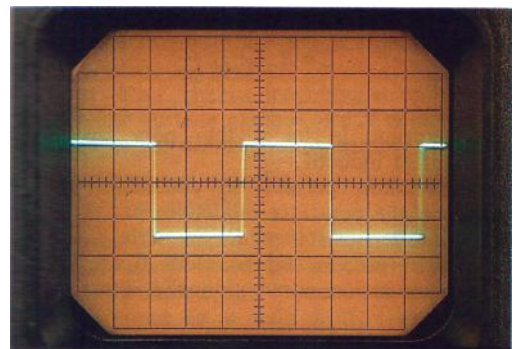


Слика 11. Шема според која се врши експеримент во тек на кој се визуелизираат ефектите од постапката на вметнување на железно јадро во соленоид.

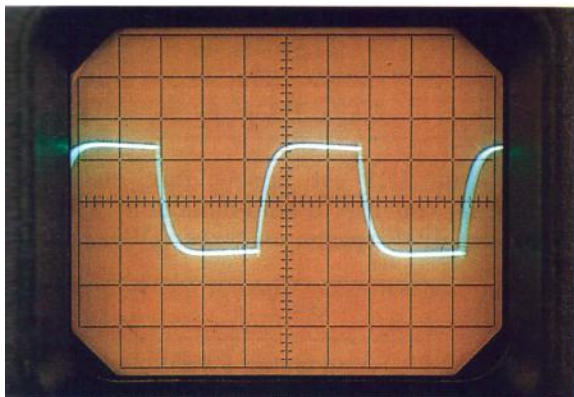


Слика 12: Кај соленоидот винтот служи за постапно внесување и изнесување на јадрото од меко железо

Со помош на осцилоскоп можеме да ги следиме промените на напонот на краевите на реостатот кој ги следи промените на јачината на струјата во согласност со Омовиот закон. (Слика 13) во отсуство на електромагнет во кругот. Но, во случај на вметнато јадро во соленоидот со помош на осцилограмот, ќе забележиме една посложена зависност од експоненцијален карактер (Слика 14).

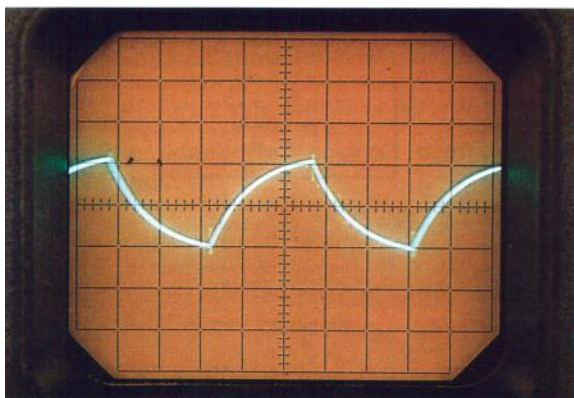


Слика 13: Кога соленоидот не е приклучен на струјниот круг промените на напонот видени на екранот од осцилоскопот се идентични со оние на генераторот



Слика 14: Напонот е под лесно влијание на приклучениот соленоид во струјниот круг

Ако во соленоидот во исто време вршиме внесување на јадрото од меко железо, уште повеќе ќе се промени зависноста на јачината на струјата и напонот (Слика 16)



Слика 16: Измените на напонот се очигледни и поголеми кога во соленоидот е внесено јадро од меко железо

Заклучок: Добиените ефекти со внесување на парчето меко железо во соленоидот покажува дека ефектите што се јавуваат во поведението на струјата се последица на својствата на самиот струен круг, а не на некоја надворешна причина.

Кога јачината на струјата се зголемува во соленоидот, се се случува како во струјниот круг да се создава генератор, кој делува спротивно од изворот на напонот.

Кога јачината на струјата се намалува, во соленоидот се се случува како во струјниот круг да се создава генератор, кој сервиски е сврзан во

изворот на напонот кој се стреми да го продолжи течењето на струјата која исчезнува.

Дефиниција: Појава на електромагнетна индукција во струен круг заради сопствените промени на јачината на струјата, односно промените на сопственото магнетно поле се вика *самоиндукција*.

Последици: Самоиндукцијата не се јавува во режим на течење на права постојана струја. Во тој случај, својствата на соленоидот се сведуваат на неговиот омски отпор.

Во режим на течење на струја со променлива јачина самоиндукцијата, доведува до модифицирање на струите во струјниот круг.

Соленоидот го попречува дисконтинуитетот на јачината на струјата. Струјата не исчезнува во тек на еден кус интервал Δt во тек на кој самоиндукцијата се противи на дисконтинуитетот.

Малку теорија: Со оглед на тоа дека самоиндукцијата е само специјален случај на електромагнетна индукција за нејзино математичко определување се повикуваме на општиот Фарадеев закон за индуцирани струи во калем. За калем со N навивки законот го има обликот

Ако калемот во кој се случува самоиндукцијата, има должина l и плошина на напречен пресек S и низ него тече струја со јачина I , тогаш него го понижува магнетен флуks

$$\Phi = B \cdot S = \mu \cdot H \cdot S = \mu \cdot n \cdot I \cdot S = \mu \cdot \frac{N}{l} \cdot I \cdot S$$

За електромоторната сила се добива земајќи претходно дека $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$

$$\begin{aligned} \varepsilon_s &= -N \frac{\mu \cdot \frac{N}{l} \cdot I_2 \cdot S - \mu \cdot \frac{N}{l} \cdot I_1 \cdot S}{\Delta t} = \\ &= -\frac{\mu \cdot N^2 \cdot S}{l} \cdot \frac{I_2 - I_1}{\Delta t} = \\ &= -\frac{\mu \cdot N^2 \cdot S}{l} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \end{aligned}$$

$$L = \frac{\mu \cdot N^2 \cdot S}{l},$$

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r,$$

каде μ_0 е апсолутна магнетна пермеабилност на вакуум; а μ_r е релативна магнетна пермеабилност која зависи од природата на материјалот.

Заклучок: Закон за самоиндуцирана електромоторна сила гласи

$$\varepsilon_s = -L \frac{\Delta I}{\Delta t},$$

L го каректизира проводникот во кој се случува процесот на самоиндукција и се нарекува **коэффициент на самоиндукција** или **индуктивитет** на проводникот. Единица за коэффициентот е хенри (H).

Ако промента на јачината на струјата се изрази во ампери (A), времето на промента во секунди (s), а индуктивитетот (коэффициентот на самоиндукција) во хенри (H), самоиндуцираната електромоторна сила се изразува во волти (V).

Вежба: Од законот за самоиндукција може да се дефинира хенри. Изрази го математички коэффициентот на самоиндукција, а потоа дефинирај го!

Вежба: По принцип на аналогија од веќе видениот математички облик обиди се да најдеш име за физичката величина $\frac{\Delta I}{\Delta t}$? Во кои единици се исказува?

Вежба: Повтори ја вредноста на апсолутната магнетна пермеабилност на вакуум и вредностите на релативната магнетна пермеабилност на разни материјали, а потоа пресметај индуктивитет на калем долг 20 центиметри со 200 навивки намотани на цилиндер со плошина на напречен пресек од 10 центиметри квадратни.

Да запомниме:

- самоиндукцијата е само еден облик на електромагнетната индукција;
- појавата е последица од состојбите на течење на струјата во самиот струен круг;
- големината на самоиндуцираната електромоторна сила зависи од својствата на

струјниот круг, пред се од индуктивитетот на кругот, а за струјни кругови со калеми од коэффициентот на самоиндукција на калемот;

- големината на самоиндуцираната електромоторна сила зависи од состојбата на струјниот круг, односно од брзината на промена на јачина на струја.

Магнетна енергија (Енергија на магнетно поле)

При протекување на струја низ струен круг, во кој има соленоид со индуктивитет L и електричен отпор R енергијата на изворот се троши за совладување на омскиот отпор и за совладување самоиндуцираната електромоторна сила.

$$\varepsilon = R \cdot I + L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Моќноста на струјата е позитивна додека во соленоидот тече струја на која јачината и се зголемува, односно додека соленоидот прима енергија и го создава своето магнетно поле.

$$P = R \cdot I^2 + L \cdot I \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Изразот $R \cdot I^2$ е секогаш позитивен, затоа што тој ги дава Џуловите ефекти (на загуба на енергија на електроните кои минувајќи низ металот при судирите во кристалната решетка ги трпат загубите).

Вториот израз $L \cdot I \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$ е алгебарски. Тој може да биде позитивен, а може да биде негативен. Претставува мало количество на енергија што ја прима соленоидот во тек на краток временски интервал, при формирање на магнетно поле заради индуктивитетот на соленоидот и тогаш е позитивен. Ова алгебарско зголемување на енергијата во соленоидот се нарекува **енергија на магнетно поле**.

Во случај за зголемувањето на јачината на струјата од вредност I_1 до I_2 за $\Delta I = I_2 - I_1$ велиме дека алгебарската промена на енергијата на магнетното поле е:

$$\Delta E_{mag} = \frac{L \cdot I_2^2}{2} - \frac{L \cdot I_1^2}{2} = E_{mag2} - E_{mag1},$$

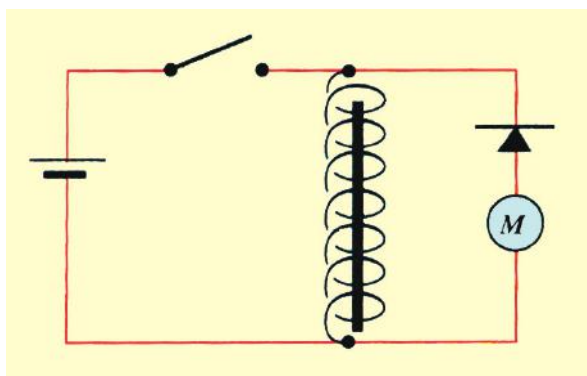
така да практично изразот $\frac{L \cdot I^2}{2}$ ја претставува количината на енергијата на магнетното поле во соленоидот со индуктивитет L во моментот кога низ соленоидот протекува струја со јачина I .

$$W_{mag} = \frac{LI^2}{2}$$

Ако индуктивитетот се изрази во хенри (H), јачината на струјата во ампери (A), енергијата ќе ја изразиме во џули (J).

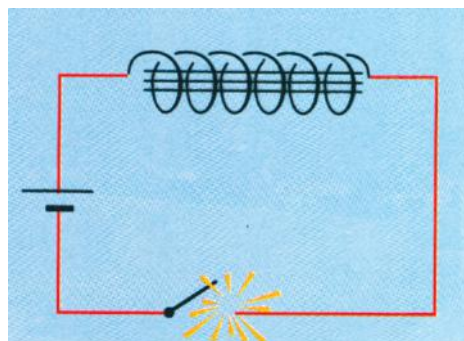
Како ќе ја препознаеме енергијата на магнетното поле?

Со отварање на струјно коло со изразени индуктивни својства магнетната енергија бргу се губи и растура. На пример (Слика 16). Кога прекинувачот е затворен, струјата минува само низ соленоидот, но не и низ гранката на диодата.



Слика 16: Шема со која се демонстрира присуството на енергија на магнетното поле во соленоидот

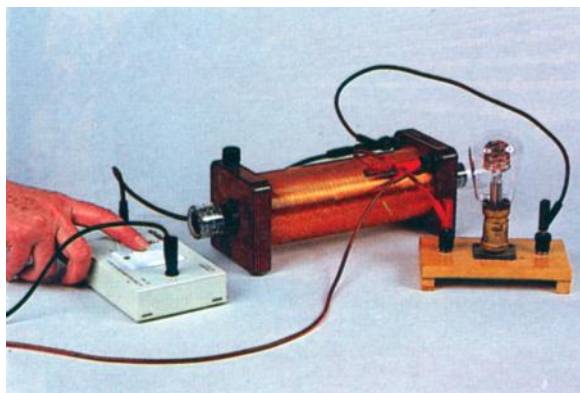
Во соленоидот е складирано определено количество на енергија определено со индуктивните својства на соленоидот и јачината на струјата дефинирана според Омовиот закон. При отварање на струјното коло целокупната енергија се пренасочува низ гранката со диодата во која се наоѓа вклучена светилка која во овој случај ќе засвети за кратко поради самоиндуцираниот напон. Овој *наднапон* може да биде искористен во најразлични случаи. Понекогаш тој станува толку голем што при исклучување на прекинувачот воздухот го прави проводен и во негова близина се јавуваат искри. (Слика 17).



Слика 17: При брзо и последователно вклучување и исклучување на струјниот круг во близина на прекинувачот се јавуваат искри

Оваа појава често се смета како негативен ефект и струите што притоа се јавуваат се третираат како *паразитиски* струи кои прават пречки, на пример во работата на еден радиоприемник. Нив обично ги елеминираат со употреба на кондензатор кој има за задача да ја апсорбираат магнетната енергија.

Позитивната употреба на оваа енергија е за палење на неонските светилки. (Слика 18).



Слика 18: Иако приклучениот извор има електромоторна сила од само $6V$ при исклучување се индуцира наднапон од $70V$ што е доволно за палење на неонска лампа чиј работен напон е $70V$

Постојат неонски светилки кои работат на напон од 70 волти. Тие се во паралелна врска со соленоид, напојуван со извор од 6 волти. Со брзо исклучување на струјниот круг наднапонот што се индуцира надминува 70 волти и неонската светилка се пали. Ако во гранката каде е неонската светилка, се вклучи светилка со влакно со работен напон од 6 волти, таа брзо и силно засветува. Често пати влакното во светилката прегорува.

Да запомниме:

- енергијата на магнетното поле или магнетната енергија е последица на воспоставување на режим на постојана струја во струен круг, кој има нагласени индуктивни својстава (сврзан калем);
- количеството магнетна енергија во струен круг на постојана струја зависи од индуктивните својства на кругот и од состојбата на кругот: јачината на струјата што протекува низ него;
- појавата на магнетната енергија е во согласност со општиот закон за зачувување на енергија.

Електромагнетна индукција

Да ги провериме сѐкнајтѝе знаења

I. Одговори на прашањата:

1. Како се нарекува појавата што се добива при придвижување на магнет покрај соленоид?
2. Дали врз големината на индуцираната струја може да се влијае преку брзина на промена на струјата на секундарниот круг. Образложи!
3. Која е единицата за коефициент на самоиндукција. Изрази ја единицата преку основните единици од SI - системот.
4. Кога моќноста на струјата е позитивна?
5. Кои се причините за честото прегорување на влакната на светилките?

II. Точно или неточно:

1. Индуцираните струи се причина за појава на индуцираните напони.
2. Големината на индуцираната електромоторна сила зависи од магнетната индукција, јачината на струјата што минува низ проводникот и брзината на движење на проводникот.
3. Од два проводника што се движат во исто хомогено магнетно поле со еднакви брзини поголема електромоторна сила ќе се индуцира на краевите на подолгиот проводник.
4. Самоиндукција е појава која се должи на промените на сопственото магнетно поле на проводникот.
5. Појавата на самоиндуцираните струи е во согласност со општиот закон за запазување на енергија.

III. Заокружи го точниот одговор:

1. Правилото на десна рака кое ја определува насоката на индуцираните струи е последица на
а. Флемингово правило; б. Ленцово правило; в. Кирхофово правило.
2. Во проводник долг 20cm , кој се движи со брзина 5m/s во хомогено магнетно поле со магнетна индукција од $0,01\text{T}$ се индуцира електромоторна сила од:
а. 1mV б. 10mV в. $0,1\text{V}$
3. Големината на самоиндуцираната струја зависи:
а. брзина на движење на проводникот; б. брзина на промена на јачината на струјата; в. не зависи ниту од едното ниту од другото.
4. При појава на паразитски струи, кондензаторот се приклучува за да ги апсорбира:
а. магнетниот флуks; б. магнетната енергија; в. електричната струја.
5. Според законот за електромагнетна индукција: електромоторната сила се изразува во волти само ако:
а. брзината на движење се изрази во центриметри во секунда, магнетната индукција во тесли, а должината на проводникот во метри;
б. брзината на движење се изрази во метри во секунда, магнетната индукција во тесли, а должината на проводникот во метри;
в. брзината на движење се изрази во метри во секунда, магнетната индукција во тесли, а должината на проводникот во центиметри.

Вежби и задачи

1. Кружен проводник се наоѓа во хомогено магнетно поле, така поставен да магнетниот флуks изнесува $0,02 \text{ Wb}$. Колкава е индуцираната електромоторна сила во проводникот ако флуksот рамномерно опаѓа до нула за време од $0,1 \text{ ms}$.

Да се нацрта дијаграмот на промена на магнетниот флуks и соодветниот дијаграм на индуцираната електромоторна сила.

Одговор: 200 V

2. Низ струен круг, со индуктивитет $0,1 \text{ H}$ протекува електрична струја чија јачина се менува со брзина $0,5 \text{ A/m}$. Колкава е самоиндуцираната електромоторна сила во овој струен круг?

Одговор: 50 mV

3. Во даден струен круг се индуцира постојана електромоторна сила од 12 V . Дали промената на флуksот е рамномерна? Со која брзина се менува магнетниот флуks низ кругот?

Одговор: Да; 12 Wb/s

4. Дали во кругот се јавува индуцирана електромоторна сила во случаи кога магнетниот флуks се менува произволно, односно кога неговата промена не е линеарна?

Одговор: Да

5. (Задача за синтеза): Индуктивитетот на прав соленоид се определува според формулата

$$L = k \frac{N^2 \mu S}{l}$$

каде l ја претставува должината на соленоидот, S површината што ја ограничува секоја навивка од соленоидот (може да се смета дека таа е приближно еднаква на површината на пресекот на јадрото), N бројот на навивките, μ магнетната пропустливост (пермеабилност) на средината (обично се смета дека тоа е магнетната пропустливост на јадрото на соленоидот), k фактор без димензии чија вредност зависи од односот на дијаметарот d на соленоидот и неговата должина. Кога $l \gg d$ може да се земе дека k е еднакво на единица. Кај прстенести соленоиди (горуси) чијшто дијаметар е значително поголем од дијаметарот на навивките, за пресметување може да се примени истата формула, подразбирајќи под l средна должина на магнетните силиви линии во соленоидот.

Коефициентот k за во формулата за пресметување на индуктивитетот на еднослоен калем има вредности дадени во табелата (Табела)

Табела 1

Зошто кај долгите калемии коефициентот k има поголема вредност отколку кај кратките со ист дијаметар?

2. Користејќи ја табелата, определи го индуктивитетот:

а. на еднослоен калем со густо навиткани жици на дрвено јадро долго 10 центиметри со дијаметар 5 центиметри. Дијаметарот на жицата заедно со изолацијата изнесува $0,5$ милиметри;

б. прстен со дијаметар 10 центиметри кој е направен од жица дебела 1 милиметар.

5. Осцилации

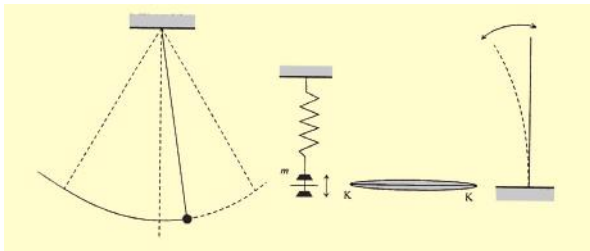
Осцилаторни движења

Изучувајќи го рамномерното кружно движење во I година се запознавме со еден вид периодично движење, кое се повторува во еднакви временски интервали. Сега ќе се запознаеме со еден посебен вид на периодично движење т.н. *осцилаторно движење*.

Појавите, како што се движење на Земјата околу Сонцето, смената на денот и ноќта, движење на клатното на часовникот, жиците на музичките инструменти, разни видови на нишала, осцилирање на атомите и молекулите во цврстите тела и др., со заедничко име можат да се наречат *периодични движења*.

Времето за кое се повторува една појава се вика **период** и се бележи со (T) .

Осцилаторните движења како посебен вид на периодични движења најчесто настануваат како последица на еластични деформации на телата. Кај сите осцилации, движењата се вршат наизменично во две спротивни насоки, околу рамнотежната положба.



Слика 1: Видови осцилатори

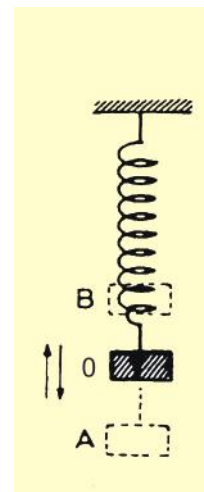
Појавата на осцилаторно движење можеме да ја разгледуваме преку примерот - осцилирање на тело закачено на пружина (Слика 2)

Кога спиралата не е деформирана, телото се наоѓа во *рамнотежна положба* - тоа е најстабилна положба.

Ако телото го изведе од рамнотежната положба со тоа што ќе ја извлечеме спиралата надолу, ќе се појави сила која тежи да го врати телото во рамнотежна положба. Под дејство на оваа сила телото се движи забрзано при што неговата потенцијална енергија се претвора во

кинетичка. Во моментот кога тоа ќе дојде во рамнотежна положба, престанува дејството на таа сила, но тоа по инерција го продолжува движењето понатаму, наспроти силата која сега дејствува во спротивна насока. Движејќи се успорено, телото ќе застане и тогаш целокупната кинетичка енергија ќе премине во потенцијална. Телото ја променува насоката и продолжува забрзано да се движи кон рамнотежната положба кога и се завршува еден циклус, односно една *полна осцилација*. Понатаму движењето се одвива по истиот редослед. Вакво наизменично преминување на енергијата од еден вид во друг, се смета како едно од најопштите својства на секое осцилаторно движење.

Движење при кое телото ги поминува сите можни положби во двете насоки, доаѓајќи повторно во почетната положба, се вика една *полна осцилација*. Од слика 2 тоа може да се напише на следниот начин: Ако телото поаѓа од рамнотежната положба: $(0 \rightarrow A \rightarrow 0 \rightarrow B \rightarrow 0)$



Слика 2

Осцилациите на телото може да се случуваат под дејство на гравитационото поле или било кои други околности, но кај сите осцилации се јавува сила која секогаш е насочена кон рамнотежната положба.

Оваа сила се менува и по правец и по големина и се вика *повраќајна сила*.

Таа е толку поголема колку растојанието на телото од рамнотежната положба е поголемо,

што значи дека во рамнотежната положба таа сила е еднаква на нула.

Реалните осцилации со текот на времето се придушуваат.

- *Придушени осцилации* или амортизирани се оние чии амплитуди во текот на времето систематски се намалуваат.

- *Непридушени осцилации* или неамортизирани се оние чии амплитуди во текот на времето се константни.

Просто хармониско движење

Најпрост облик на осцилации се оние кои се вртат по права траекторија и кога силата која го враќа осцилаторот во рамнотежната положба е пропорционална на растојанието од рамнотежната положба.

Такво осцилаторно движење се вика *просто хармониско движење*.

Условот за таков вид осцилации може да се изрази со равенката:

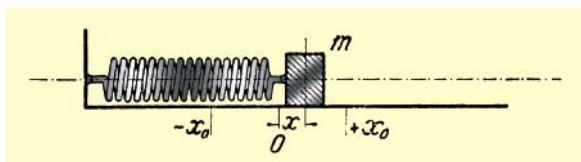
$$F = -kx$$

k -константа на пропорционалноста, определена со својствата на осцилаторниот систем.

Знакот (-) е заради тоа што силата секогаш има насока обратно од поместувањето.

Овој вид движење може да се објасни со следниот пример:

На еластична спирала, која на едниот крај е прицврстена, е закачено тело кое без триење може да се движи по хоризонтална рамнина. (Слика 3)



Слика 3

Кога спиралата не е деформирана, телото е во рамнотежната положба и на телото не дејствува никаква сила.

Ако телото се движи во правец на x -оската, било во позитивна или во негативна насока, еластичната сила F ќе биде пропорционална на деформацијата, односно оддалеченоста на телото од рамнотежната положба, согласно горната

равенка. Кога телото е максимално оддалечено од рамнотежната положба целокупната енергија е потенцијална. Под дејство на силата на пружината тоа забрзано ќе се движи кон рамнотежната положба при што неговата потенцијална енергија ќе преминува во кинетичка. Во моментот кога ќе се најде во рамнотежната положба, целокупната енергија е кинетичка. Тогаш телото по инерција ќе продолжи, при што успорено ќе се движи во спротивната насока и неговата кинетичка енергија повторно преминува во потенцијална и тн.

Ова движење е променливо праволиниско, со забрзување кое во текот на времето се менува.

Согласно II Њутнов закон $F=ma$ ваквата сила се урамнотежува со еластичната сила на спиралата $F=-kx$ од каде следува:

$$ma = -kx$$

$$a = -\frac{k}{m}x$$

Следува дека забрзувањето е право пропорционално со поместувањето.

Елементи на осцилаторно движење

- *Период (T)* - време за една полна осцилација;
- *Елонгација (x)* - растојанието на телото од рамнотежната положба во даден момент;
- *Амплитуда* - максималната оддалеченост (најголемата елонгација) на телото од рамнотежната положба;
- *Фаза* - временска карактеристика на осцилаторното движење те. определува положба и насока на телото во дадено време;
- *Фреквенција (f)* - број на осцилации во единица време. Се мери во единица херц;

$$Hz = 1s^{-1}$$

- Фреквенцијата и периодот на осцилаторното движење секогаш се реципрочни:

$$f = \frac{1}{T}; T = \frac{1}{f}$$

- *Кружна фреквенција* (циклична). Се бележи со ω и претставува број на осцилации за време од секунди.

Според дефиниција $\omega = 2\pi f$ односно $\omega = \frac{2\pi}{T}$

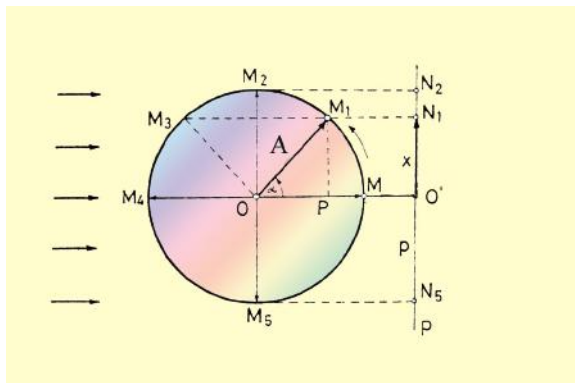
Осцилаторно движење како проекција на кружно движење

Ке го проследиме движењето на материјална точка M со постојана брзина по кружница со радиус A и при тоа ќе вршиме проекција на една права P , која лежи во рамнината на кружницата.

Во времето $t=0s$ материјалната точка се наоѓа во положба M , а нејзина проекција е O' . После некое време од t секунди таа ќе стигне во положба M_1 , а нејзината проекција во N_1 . За тоа време радиус векторот A ќе го опише аголот α .

По истекот на времето од материјалната точка ќе се најде во положба M_2 , а нејзината проекција во N_2 и т.н. се додека материјалната точка не направи едно цело завртување за време T . Ако по истиот редослед ги проследиме проекциите од почетокот до крајот на движењето ќе забележиме дека проекцијата ќе направи една осцилација (не потсетува на осцилирање на спирала).

$$\frac{2\pi}{T} = \omega$$



Слика 4

Запомни:

- Сите елементи означени на кружницата, се елементи на кружното движење.
- Сите елементи означени на правата P , се елементи на осцилаторното движење.

Од сликата можеме да забележиме дека положбите: O' , N_4 и N_6 се рамнотежни положби.

Растојанието $\overline{O'N_1}$ е елонгација(x)

Точките N_2 и N_5 се најоддалечени точки од рамнотежната положба така што растојанијата $\overline{O'N_2}$ и $\overline{O'N_5}$ се амплитуди на осцилацијата.

Додека материјалната точка се движеше по кружницата, радиус векторот опишуваше агол α кој пропорционално расте со времето. Според тоа можеме да напишеме:

$$\text{бидејќи } \frac{2\pi}{T} = \omega$$

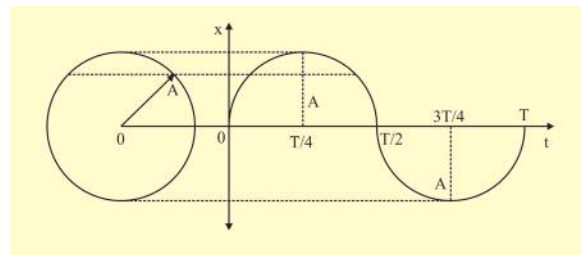
$$\Rightarrow \alpha = \omega \cdot t \text{ фаза на осцилацијата}$$

Објасни: Што можеме да заклучиме од положбите на проекциите на точките M_1 и M_3 ?

Карактеристични величини на хармониско осцилаторно движење

Елонгација на хармониско осцилаторно движење

Сега проекцијата на движењето на материјална точка M ќе ја вршиме на временска оска така што ќе го добиеме графикот на функционалната зависност на елонгацијата од времето. (Слика 5).



Слика 5

Од (Слика 4) можеме да ја добиеме равенката за елонгација.

Од

$$x = A \sin \alpha$$

знаеме дека:

$$\alpha = \omega t = \frac{2\pi}{T}t$$

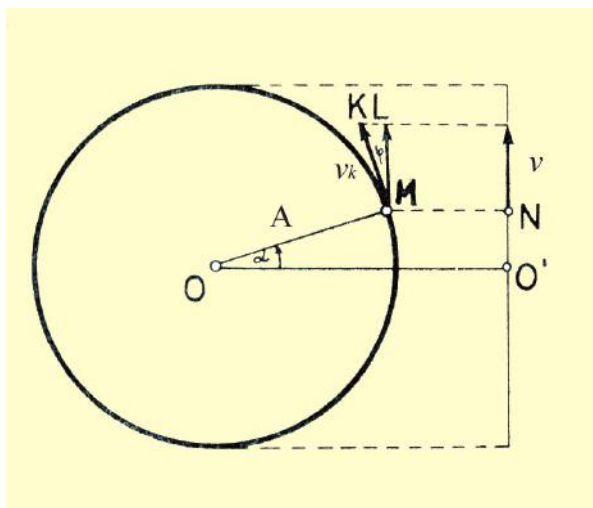
$x = A \sin \omega t = A \sin \frac{2\pi}{T}t$ - Равенка на елонгацијата.

Елонгацијата се менува по законот на синусната функција што потврдува дека станува збор за хармониски осцилации. Од графикот може да се забележи дека во времето $t=0$; $T/2$ и T елонгацијата $x=0$, додека во времето $t=T/4$ и $3T/4$ елонгацијата е max , односно тоа се амплитудни положби.

Брзина на хармониско осцилаторно движење

За да го најдеме законот по кој се менува брзината кај осцилаторното движење, повторно ќе се користиме со проекција на кружното движење.

Знаеме од порано дека линиската (периферна) брзина кај кружните движења, секогаш има правец на тангента во било која точка од кружницата. (Слика 6).



Слика 6

Од кружно движење знаеме дека линиската брзина е:

$$v_k = \frac{2R\pi}{T}$$

а аголната:

$$\omega = \frac{2\pi}{t}$$

од каде \Rightarrow

односно

$$v_k = \omega A.$$

Од сликата гледаме дека аголот KML е еднаков со аголот MOO' , како агли со нормални краци,

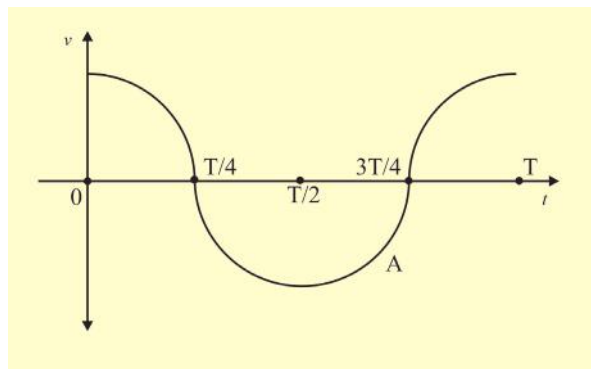
Од триаголникот следува дека:

$$\frac{\overline{ML}}{\overline{MK}} = \frac{v}{v_k} = \cos \alpha; \quad v = v_k \cos \alpha = \omega A \cos \alpha$$

$$v = \omega A \cos \alpha$$

Равенката за брзина на хармониско осцилаторно движење

Брзината кај осцилаторното движење се менува по законот на косинусната функција (Слика 7).

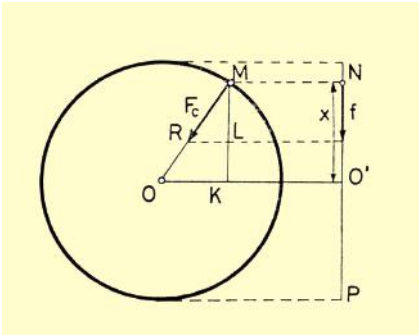


Слика 7

Дискусија: Кога осцилаторот минува низ рамнотежната положба има најголема брзина така што во времето $t=0$; $T/2$ и T додека во времето $t=T/4$ и $3T/4$, кога осцилаторот е најдалеку од рамнотежната положба $v=0$

Сила кај хармониско осцилајорно движење

Додека материјалната точка се движи рамномерно по кружницата, на неа и дејствува центрипетална сила која е насочена кон центарот на кружницата и и соопштува центрипетално забрзување (Слика 8).



Слика 8

Од сличноста на триаголниците

$$\triangle LMR \sim \triangle MOK$$

следува:

$$f : x = F_c : A$$

$$f = \frac{F_c}{A} \cdot x$$

знаеме од порано дека центрипеталната сила е:

$$F_c = \frac{4\pi^2 m}{T^2} \cdot R,$$

а бидејќи

$$R = A$$

следува:

$$f = \frac{4\pi^2 mA}{T^2 \cdot A} \cdot x;$$

$$f = \frac{4\pi^2 m}{T^2} \cdot x$$

$$f = -\omega^2 \cdot mx$$

каде:

$$\frac{4\pi^2}{T^2} = \omega^2$$

Во равенката знакот минус покажува дека силата секогаш е насочена кон рамнотежната положба.

Согласно II Њутнов закон $F=ma$ со изедначување се добива:

$$ma = -\omega^2 mx$$

$$a = -\omega^2 x$$

Вакво забрзување ќе има секое тело што осцилира на начин како и проекцијата на материјалната точка. Ако во равенката за сила $\omega^2 m = k$, ќе се добие $F = -kx$ што одговара на условот за хармониско осцилаторно движење.

Период на хармониско осцилајорно движење

Формулата за периодот на хармониско осцилаторно движење, можеме да ја добиеме, ако ги изедначиме равенките:

$$-kx = -\frac{4\pi^2 m}{T^2} \cdot x$$

$$k = \frac{4\pi^2 m}{T^2}$$

од каде:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Дефиниција: Периодот на хармониско осцилаторно движење зависи пропорционално со квадратниот корен од масата на телото кое осцилира, а обратно пропорционално со квадратниот корен на коефициентот на пропорционалноста.

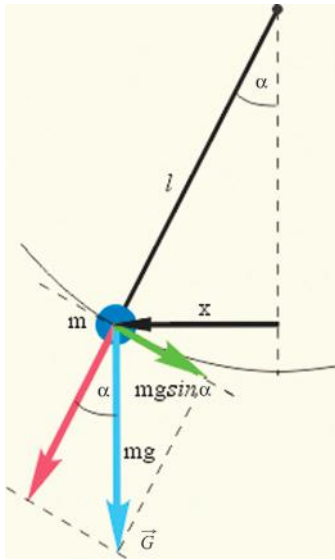
Математичко нишалo. Физичко нишалo

Математичко нишалo

Математичкото нишалo е идеализација на просто нишалo.

Тоа е тело со значителна маса, но занемарливо мали димензии, обесено на лесен нерастеглив конец, кое може да осцилира под дејство на гравитацијата.

Движењето на математичкото нишало се врши по круг со полупречник кој е еднаков на должината на нишалото (Слика 9).



Слика 9

Должината на математичкото нишало е растојанието од точката каде тоа е закачено до центарот на масата.

Кога нишалото е во рамнотежната положба, затегнатоста на крајот N е урамнотежена со силата на тежата \vec{G} . Во сите останати положби овие две сили меѓу себе зафаќаат определен агол.

Кога нишалото е надвор од рамнотежната положба тогаш, силата на тежата ја делиме на две компоненти од кои едната е во правец на крајот и ја урамнотежува силата на затегнатоста на крајот, а другата F нормална на неа во правец на тангентата во таа точка и има насока кон рамнотежната положба.

Збирот на силите кои дејствуваат на нишалото е еднаков на тангенцијалната компонента на силата на тежата:

Од сликата се гледа дека:

$$\frac{x}{l} = \sin \alpha$$

знакот минус значи дека силата секогаш дејствува спротивно од поместувањето.

$$F = -mg \frac{x}{l}$$

Поради дејството на таа сила математичкото нишало ќе се движи таму-таму, околу рамнотежната положба. Според тоа, силата ќе биде пропорционална со $\sin \alpha$ што значи дека осцилирањето на нишалото не е хармонско. Меѓутоа, за мали агли (под 5°) или изразени во радијани ($\sin \alpha \approx \alpha$) тогаш силата е хармониска, а осцилирањето на нишалото аналогно ќе биде хармониско.

Запомни!

-математичкото нишало осцилира хармониски само за мали амплитуди.

Период на математичко нишало

Ако од формулата за сила:

$$F = -mg \frac{x}{l};$$

$$\frac{mg}{l} = k$$

се замени во равенката за период на хармониско осцилаторно движење, ќе добиеме:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{\frac{mg}{l}}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Оваа формула важи само за мали амплитуди.

Дефиниција: Периодот на математичкото нишало зависи пропорционално од квадратниот корен на должината на математичкото нишало, а обратно пропорционално од квадратниот корен на земјиното забрзување.

Заклучоци:

- Периодот на осцилирање на математичкото нишало не зависи од масата на нишалото;

- Периодот на осцилирање на математичкото нишалко не зависи од амплитудата на осцилирањето;

- Ако полупериодот за една осцилација на едно нишалко е 1s тоа нишалко се вика *секундно нишалко*, чија должина е

$$l_s = 99,49 \text{ cm};$$

- Од формулата за период на математичкото нишалко произлегува дека на исто место на Земјата должините на нишалката спрема квадратите на нивните периоди стојат пропорционално:

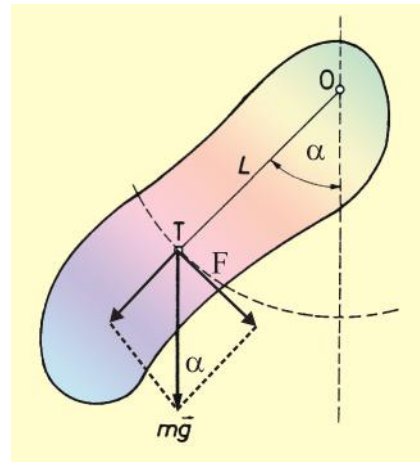
$$l_1 : l_2 = T_1^2 : T_2^2;$$

- На различни места на Земјата, земјиното забрзување спрема квадратите на периодите стојат обратнопропорционално

$$g_1 : g_2 = T_2^2 : T_1^2;$$

- Користејќи ја оваа релација може да се утврди дебелината на Земјината кора како и откривање на рудни наоѓалишта.

Физичко нишалко претставува цврсто тело кое поради дејство на Земјината тежа осцилира околу хоризонтална оска што не минува низ неговото тежиште (Слика 11)



Слика 11

Силата на тежата $m\vec{g}$ се дели на две компоненти каде само F создава момент кој тежи да го врати телото во рамнотежната положба:

а вредноста на моментот е:

$$M = -mgL \sin \alpha$$

каде L е растојанието од оската на ротација до тежиштето на телото а α е аголот кој отсечката го затвора со вертикалата. Минусот покажува дека моментот на силата настојува да го намали аголот α . Исто како и за математичкото нишалко и овде за мали амплитуди па според тоа следува:

$$M = -mgL\alpha$$

Периодот на физичкото нишалко за мали амплитуди е каде I е момент на инерција

Пример: Колкава должина мора да има математичкото нишалко да би имало ист период како и физичкото?

Ако се споредат равенките:

период на математичко нишалко:

Физичко нишалко

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgL \sin \alpha}}$$



Слика 10: Младата девојка на нишалката претставува пример за физичко нишалко

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

и период на физичко нишало:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgL}}$$

ќе се добие дека:

$$L_r = \frac{I}{mL}$$

каде L_r е редуцирана должина на физичкото нишало.

Пример 1: Да набљудуваме физичко нишало во форма на линиар кој се ниша околу оската која минува низ еден од неговите краеве. Ако должината на линиарот е d тогаш моментот на инерција ќе биде $I = md^2/3$. Редуцираната должина на таквото нишало е:

$$l_r = \frac{I}{md} = \frac{2}{3}d$$

Математичкото нишало со должина

$l_r = \frac{2}{3}d$ ќе има ист период како и линиарот со должина d . Точката C на линиарот која од оската на ротација е оддалечена за редуцираната должина l_r се вика центар на осцилирање.

Пример 2: Колкав ќе биде периодот на Земјиното секундно нишало на Месечината?

Периодот на нишалото на Месечината е:

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g_M}}$$

а на Земјата:

$$T_Z = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g_Z}}$$

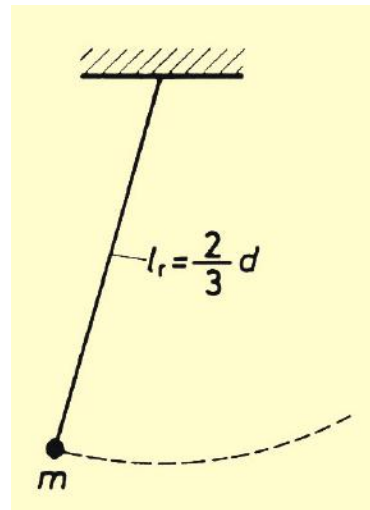
Ако ги поделиме овие равенки ќе добиеме:

$$T_M = T_Z \sqrt{\frac{g_Z}{g_M}} = 2s\sqrt{6} = 4,9s$$

Практична примена на физичко нишало:

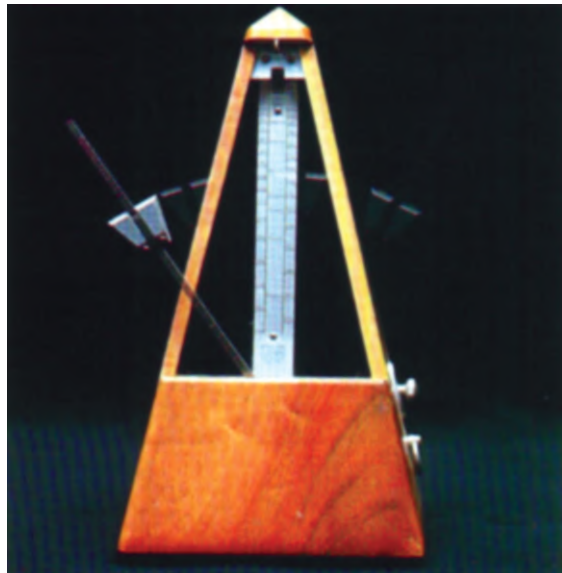
-Кај **часовникот** конструиран од данскиот физичар Кристијан Хајгенс (1658 г.)

Регулирање на овој часовник се врши со поместување на мералниот диск горе или долу во однос на нишалото со помош на едно завртување. Ако дискот се поместува према горе, тогаш времето на осцилирање е покусо, часовникот оди побрзо и обратно (Слика 11)



Слика 11

- **Метроном** е справа кај која физичкото нишало служи за одбројување на тактови (Слика 12)



Слика 12

- **Сеизмограф** - инструмент за мерење на поместувања кои настануваат како последица на Земјотрес. Осцилации кои настануваат како последица на осцилирање на Земјината кора се пренесуваат преку специјална пружина од нишалото на перото кое ги испишува осцилациите.

$$E = \frac{m\omega^2 \pm 1}{2} A^2$$

Енергија на осцилаторно движење

Кога осцилаторот се изведе од рамнотежната положба на него му се соопштува извесна механичка енергија, која во изолиран систем, според законот за запазување на енергијата е збир од потенцијална и кинетичка:

$$E = E_p + E_k$$

Бидејќи во текот на осцилирањето, нишалото постојано ја менува брзината, кинетичката енергија постојано преминува во потенцијална и обратно.

Кога осцилаторот поминува низ рамнотежната положба, потенцијалната енергија целосно преминува во кинетичка така што:

$$E_p = 0 \text{ а } E_k = E_{k_{max}}$$

Оддалечувајќи се осцилаторот од рамнотежната положба се движи успорено, така што во амплитудната положба кинетичката енергија

целосно преминува во потенцијална енергија кога:

$$E_k = 0 \text{ а } E_p = E_{p_{max}}$$

Кога осцилаторот се приближува кон рамнотежната положба, се движи забрзано и потенцијалната енергија преминува во кинетичка и тн.

Енергијата на осцилаторното движење може да се определи од равенката кога кинетичката енергија е најголема:

$$E = E_{k_m} = \frac{mv_m^2}{2}$$

ако за брзината ја замениме равенката од хормонски осцилации:

$$v = \omega A \cos \omega t$$

тогаш брзината е најголема кога од каде со замена за енергијата ќе следува:

ако:

$$\frac{m\omega^2}{2} = k$$

$$\Rightarrow E = kA^2$$

Вкупната енергија на хармониското осцилаторно движење зависи пропорционално од квадратот на амплитудата.

Присилени осцилации. Резонанција

За осцилаторите кои слободно осцилираат и чии осцилации во текот на времето се придрушуваат, велме дека вршат слободни осцилации.

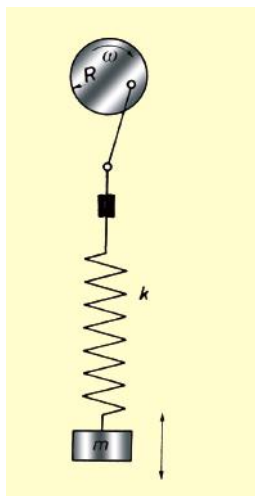
Фреквенцијата на таков слободен осцилатор се вика *сопствена фреквенција*, а осцилациите *сопствени осцилации*.

Постојат и друг вид осцилации кои настануваат кога на системот дејствува надворешна сила и се наречени *присилени осцилации*.

Тие остануваат непридушени, бидејќи надворешната сила на определени временски интервали ги надополнува загубите на енергијата. Со каква амплитуда ќе осцилира присилениот осцилатор, ќе зависи од неговата сопствена фрек-

фенција и фреквенцијата на надворешната периодична сила.

Овој вид осцилации можат да се објаснат преку следниот обид: (Слика 13)



Слика 13

При ротација на плочата R осцилаторниот систем се присилува да осцилира. Додека кружната плоча мирува, осцилаторот може да осцилира слободно како пригушен осцилатор со својата сопствена фреквенција. Кога плочата ќе се движи со аголна брзина ω , спиралата ќе осцилира со таа кружна фреквенција и на осцилаторот му дејствува периодична-надворешна сила по законот на синусната функција.

Кога фреквенцијата на надворешниот осцилатор е помала од сопствената фреквенција

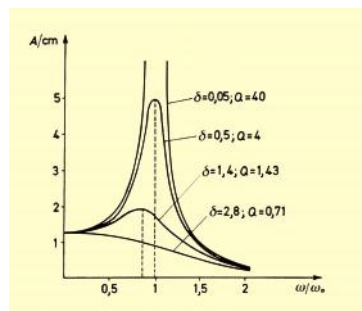
на осцилаторот односно $\left(\omega < \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}\right)$, системот осцилира, но со мали амплитуди. Колку ω ќе се приближува до амплитудата станува се поголема и конечно кога тие ќе се изедначат, ќе настане *резонанција* и амплитудата е максимално голема. Со понатамошно зголемување на фреквенцијата на плочата, повторно ќе настане намалување на амплитудите.

Дефиниција: Појавата при која амплитудите на присилените осцилации стануваат максимално големи, а тоа е кога настанува изедначување на сопствена фреквенција со фреквенцијата на надвор. периодична

сила ($\omega = \omega_0$) се вика *механичка резонанција*.

Амплитудата на присилените осцилации зависи од односот $\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$ и коефициентот на придушување.

Во идеален случај, кога не би постоело триење, амплитудата при резонанција би била бесконечна. Но во природата нема осцилаторен систем без триење, па заради тоа резонантната амплитуда е секогаш конечна. Колку придушувањето е поголемо, толку таа е помала и обратно (Слика 14).



Слика 14

Примена на резонанцијата

Резонанцијата се појавува како кај механичките осцилации (звучни), така и кај електромагнетните осцилации.

Резонанцијата е честа појава во многу механички, електрични и други уреди.

Скоро сите музички инструменти имаат резонатори (осцилатори или тела на кои лесно може да се предизвика резонанција). Освен звучниот извор (на пример: жица на гитара) звук емитува и резонаторот како на пример: воздухот со што емитуваната звучна енергија е поголема. Резонаторите кај инструментите имаат таков облик да резонираат на секаква фреквенција.

-Со електрична резонанција се служиме при барање на станици кај радио апаратот или ТВ, со помош на акустична резонанција се усладуваат музичките инструменти и др.

Резонанцијата понекогаш може да биде и опасна (особено ако коефициентот на амортизација е висок) и во материјалот предизвикува

големи напрегања, а притоа триење и оштетување.

-Забележани се многу случаи на катастрофи, предизвикани од резонанција:

Можно е рушење на зграда од мотор на мала машина.

Во Такома (7.XI.1940 г.) е срушен мост. Ветерот предизвикал осцилации на висечки мост со фреквенција блиска на резонантната што довело до создавање на осцилации со големи амплитуди.

-Како што гледаме резонанцијата е значајна појава, бидејќи мали сили или импулсен момент предизвикуваат осцилации со големи амплитуди.

Заштита од резонанција

При проектирање на машини треба да се води сметка фреквенцијата на завртувањата на подвижниот дел на машината да не се совпаѓа со сопствената фреквенција на лежиштето на машината и подлогата на која се наоѓа да не би довело до нивно оштетување.

Придушени и непридушени осцилации

Придушени осцилации

Познато е дека во природата осцилаторите кои слободно осцилираат во текот на времето губат дел од енергијата-дел за загревање на осцилаторот, дел за совладување на отпорот на воздухот. Колку време еден осцилатор ќе осцилира ќе зависи од еластичните својства на осцилаторниот систем како и од енергијата која во почетокот му е внесена. Заради загубите на енергијата осцилаторот осцилира со се помали амплитуди и на крајот ќе застане. Тоа осцилирање е придушено.

Осцилациите кај кои амплитудите во текот на времето систематски се намалуваат се викаат придушени осцилации (амортизирани).

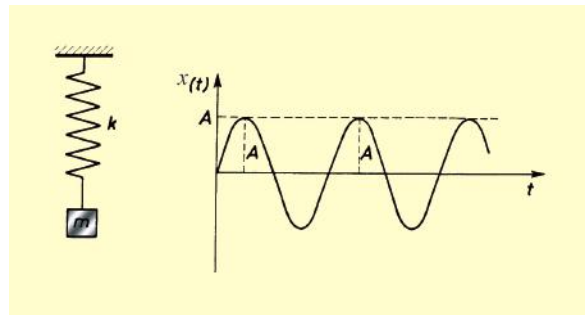
Бидејќи енергијата на осцилациите зависи од амплитудата, може да запишеме:

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{A_3}{A_2} = \frac{A_4}{A_3} = \dots = \frac{A_n}{A_{n-1}} = const = k$$

k -фактор на придушување

Од каде се гледа дека односот меѓу две соседни амплитуди е константен.

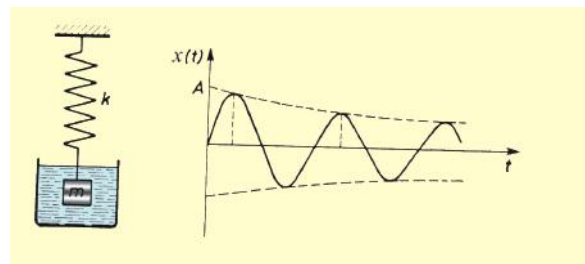
График на придушени осцилации (Слика 15).



Слика 15

Придушувањето ќе зависи од отпорот на средината.

Тег закачен на спирала кој осцилира во воздух, придушувањето е доста слабо. Ако истиот осцилатор се постави во сад со масло или др. придушувањето е многу брзо (Слика 16).



Слика 16

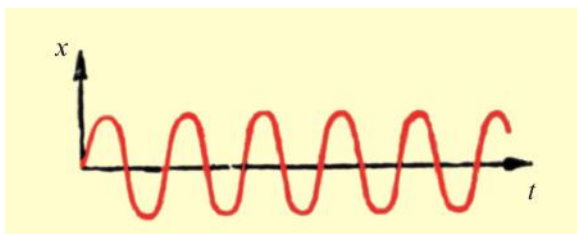
Апериодично осцилирање. Ако триењето е преголемо, системот не може да осцилира, односно придушувањето е толку големо што осцилаторот откако ќе постигне определена амплитуда, наместо да осцилира, тој се враќа во рамнотежната положба. Тоа осцилирање е наречено *апериодично осцилирање*.

Непридушени осцилации

Овој вид осцилации природно не е можно да се остварат. За да може еден осцилатор да осцилира со постојани амплитуди, потребно е на осцилаторот на определено време да му се надолупнува загубата на енергијата.

Осцилации кај кои амплитудите во текот на времето се константни се викаат непридушени (неамортизирани) осцилации.

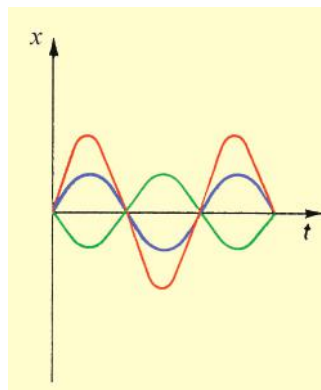
График на непридушени осцилации (Слика 18).



Слика 17

$$A_1 = A_2 = A_3 = \dots = A_n = \text{const.}$$

(Слика 20)



Слика 19

Тогаш резултантната амплитуда ќе биде:

$$A = A_1 - A_2$$

в) Ако амплитудите се еднакви $A_1 = A_2$ а фазната разлика (Слика 21) тогаш резултантната амплитуда ќе биде:

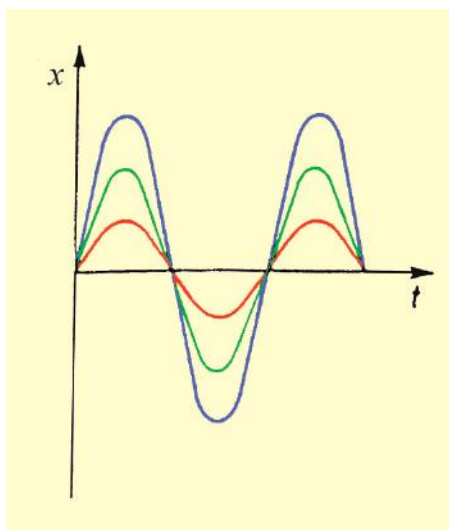
$$A = A_1 - A_2 = 0$$

Сложување на осцилации

Многу често се случува еден осцилатор да се најде под дејство на две хармониски сили во ист правец, тогаш тој врши две осцилации, односно врши резултантно осцилирање кое е сложување (суперпозиција) на тие две осцилации.

а) Наједноставен случај на осцилации е збир на две хармониски осцилации со иста фреквенција и фазна разлика:

$$\Delta\varphi = 0, 2\pi, 4\pi, \dots \text{ (Слика 19)}$$

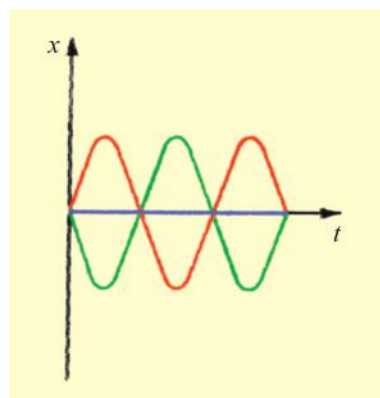


Слика 18

Резултантната амплитуда ќе биде:

$$A = A_1 + A_2$$

б) Ако двете осцилации имаат фазна разлика:



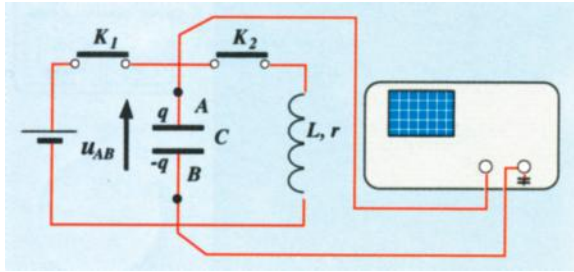
Слика 20

**Електричен осцилаторен круг.
Период на електрични
хармониски осцилации**

LC-осцилаторен круг

Дефиниција: Електричен осцилаторен круг е струен круг во кој електроните се поместуваат минувајќи постојано низ некоја средна рамнотежна вредност .

Обид: Кондензатор со капацитет C , калем со индуктивитет L и омски отпор R се сврзани како во струјниот круг даден на сликата. (Слика 22). Со помош на прекинувачите K_1 и K_2 кондензаторот најпрво се става во процес на полнење кога е вклучен прекинувачот K_1 , а потоа со затворање на K_1 и отворање на K_2 се празни преку калемот L, r . Осцилоскопот ги визуелизира промените на напонот меѓу плочите на кондензаторот.



Слика 21: Осцилаторно празнење на кондензатор низ калем

Што може да се види:

- Со затворање на прекинувачот K_1 осцилоскопот покажува дека напонот меѓу плочите на кондензаторот моментално станува еднаков со ЕМС на изворот на прав напон. Кондензаторот се наполнил. Понатамошното празнење на кондензаторот е многу бавно и не може да се забележи на осцилоскопот.
- Отворајќи го прекинувачот K_1 , а потоа затворајќи го K_2 кондензаторот се празни низ калемот. Осцилоскопот покажува дека *напонот меѓу плочите на кондензаторот е осцилаторен*.

Од овие причини струјниот круг го добил името *LC - осцилаторен круг*.

Амплитудата на осцилациите во тек на времето се намалува. Кривата која ги прикажува промените е аналогна на онаа од амортизирани (придушени) механички осцилации. Придушвањето се должи на електричниот отпор на калемот.

Теорија на осцилаторниот круг

При овој терориски пристап ќе сметаме дека отпорот на калемот е доволно мал да можеме да го земеме еднаков на нула. Тоа значи дека

кондензатор со даден капацитет C е наполнет преку извор на права струја. Тој се празни преку калем со индуктивитет L и омски отпор r нула. Во почетокот процесот на празнењето е поддржуван и одржуван со потенцијалната разлика меѓу плочите на кондензаторот. Меѓутоа, тој напон во текот на празнењето се намалува засилувајќи ја струјата. Во моментот кога напонот ќе стане еднаков на нула, струјата ќе ја има својата максимална вредност. Во тој момент исчезнува првичната причина за насочено двичење на полнежите. Но од тој момент, согласно со Ленцовото правило отпочнува процесот на самоиндукција на краевите од калемот со таква потенцијална разлика која продолжува да ја одржува струјата. Оваа самоиндуцирана струја сега отпочнува еден процес на полнење на кондензаторот. Кондензаторот се полни се додека јачината на струјата не стане еднаква на нула. Во тој момент кондензаторот е наполнет, а низ струјниот круг не тече струја. Ова состојба на наполнет кондензатор се разликува од почетната по поларитетот на кондензаторските плочи. Потенцијалната разлика што во моментот постои ќе биде искористена за ново раздвижување на полнежите со минување низ калемот, во спротивна насока. Со ова струја поддржувана од споменатата потенцијална разлика практично кондензаторот се празни. Во моментот кога кондензаторот ќе биде празен и потребната потенцијална разлика еднаква на нула, а струјата ќе ја достигне својата максимална вредност. Струјата ќе продолжи да тече во истата насока, заради отпочнување на нов циклус на самоиндуцирана електромоторна сила и самоиндуцирана струја која е струја на нов процес на полнење на кондензаторот. Процесот на полнење трае се додека самоиндуцираната струја не стане еднаква на нула. Кога процесот на полнење ќе заврши, ќе имаме состојба идентична на почетната. Од оваа состојба па натаму повторно ќе се одвива по веќе опишаниот редослед со затворање на циклусот, кој се состои од *две празнења и две полнења*. Празнењата ги одржува потенцијалната разлика меѓу кондензаторските плочи, а полнењата самоиндуцираната електромоторна сила.

Со оглед дека промените на напонот и струјата како по визуелно регистрирање, така и по математичките изведби се синусоидални, можеме да кажеме дека овие *осцилации се хармонски*.

Период на електрични осцилации

Динамиката на промените гледаме дека е условена исклучиво од својствата на системот: капацитетот на кондензаторот C и индуктивитетот на калемот L . (Опорот на калемот r го занемаривме како и отпорот на другите проводници кои учествуваат во состав на осцилаторниот круг.)

За кругот може да се воведат карактеристична величина која ги определува промените кои во кругот се случуваат како *слободни сојсџвени хармонски осцилации*. Тоа е сопствената фреквенција која ја изразуваме во херци (Hz) доколку индуктивитетот се изрази во хенри (H), а капацитетот во фаради (F) затоа што за неа важи равенката:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$$

Во текот на осцилациите на напонот и струјата осцилаторно поведење покажуваат и количеството електричество q што се менува на кондензаторските плочи како и јачината на магнетното поле формирано како хомогено во внатрешноста на калемот и јачината на електричното поле исто така хомогено во просторот меѓу кондензаторските плочи. Зависноста на количеството електричество од времето е дадена со равенката

каде Q_m и φ зависат од почетните услови избрани од експериментаторот. (почетниот електричен полнеж на кондензаторските плочи и почетниот момент). Q_m е максимално количество на електричество (амплитудна вредност), а φ е фаза за моментот $t=0$. Таа може да се земе да е еднаква на нула (). Истите промени како на количеството електричество му се случуваат и на напонот

За случај на сопствени слободни непридушени осцилации ω_0 е определено со погореданата равенка.

Равенката за јачината на струјата е

$$i = \omega_0 \cdot Q_m \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + \varphi)$$

од каде:

$$i = \omega_0 \cdot Q_m \cdot \cos\left(\omega_0 \cdot t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right)$$

Од равенките се гледа дека јачината на струјата избрзува пред напонот за $\frac{\pi}{2}$.

Периодот на сопствените осцилации во осцилаторниот круг е еднаков со периодот на дадената синусоида и е:

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$$

или за периодот на осцилациите добиваме:

$$T_0 = 2\pi\sqrt{L \cdot C}$$

Периодот го даваме во секунди (s). Реципрочна вредност на периодот се нарекува **сопствена линиска фреквенција** која ја изразуваме во херци (Hz)

$$f_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Да запомниме:

- LC -осцилаторот се состои од кондензатор и калем со занемарен омски отпор;
- За да осцилациите отпочнат потребно е осцилаторниот круг да се нахрани со енергија;
- Во тек на осцилациите повеќе величини осцилаторно се менуваат: количество електричество, јачина на струја, напонот меѓу плочите на кондензаторот, јачината на магнетно поле и јачина на електрично поле;
- Осцилациите се хармонски и кривата на зависност е синусоида;
- Осцилаторните промени кај разни величини не ги добиват истовремени нулите и максималните вредности;
- Реално сите осцилации се придушени;
- Периодот и сопствената фреквенција на осцилациите зависат исклучиво од својставата на кондензаторот и калемот.

Аналогија меѓу механички и електрични осцилации

Енергија скалдирана во калемот и кондензаторот

1. Изразот за складираната магнетна енергија во калем со индуктивитет L низ кој протекува струја со јачина i веќе е изучен и е даден

$$E_{mag} = \frac{1}{2} L \cdot i^2$$

Енергијата се изразува во џули (J) ако индуктивитетот е во хенри (H), а јачината на струјата во ампери (A).

2. Изразот за складирана електрична енергија меѓу плочите на кондензаторот исто така веќе е даден. Имено, електричната енергија складирана меѓу плочите на кондензатор со капацитет C кога е наполнет со количество електричество q е дадена со равенката

$$E_{el} = \frac{1}{2} \cdot \frac{q^2}{C}$$

Енергијата (E) и овде се изразува во џули (J), ако количеството електричество (q) се изразува во кулони (C), а капацитетот (C) во фаради (F).

За енергијата со која располага во секој момент осцилаторниот круг можеме да кажеме дека е *електромагнетна енергија*. Таа од момент до момент го менува својот облик: електричната се намалува, а магнетната расте и обратно, но во осцилаторен круг на сопствени слободни непридушени осцилации кога сите омски отпори се практично земени за нула, сумата од магнетната енергија на калемот и електричната на кондензаторот е константна и изнесува

$$E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{q^2}{C}$$

Математичките пресметки укажуваат на тоа дека оваа сума практично цело време останува непроменета и е еднаква на почетната вредност на енергијата што е внесена во осцилаторниот круг при полнење на кондензаторот.

$$E = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q_m^2}{C}$$

Со други зборови вкупното количество на енергија не се менува. Енергијата останува запазена.

Оваа поведение и својство на осцилаторниот круг во тек на осцилаторното движење да не ја менува вкупната енергија, потсетува на состојбите на механички осцилаторен систем кај кој доаѓа до запазување на вкупната механичка енергија. Механичката енергија на тој систем е збир од кинетичката енергија која се јавува заради движење на осцилаторниот систем и потенцијал која е резултат на моменталното отклонување на системот од рамнотежна положба.

$$E = E_k + E_p ; E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 ; E_p = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$$

или, знаејќи дека и брзината (v) и елонгацијата (x) при осцилациите ги менуваат вредностите и кинетичката енергија ја претвораат во потенцијална и обратно, повторно важи законот за запазување на механичката енергија (E) во облик

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 \Rightarrow$$

Аналогијата меѓу електричните и механичките осцилации е дадена во долната Табела 1 и Слика 23

Механички осцилации Електрични осцилации

Равенки за енергија

$$\frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} k x^2 = E_{mex.}$$

$$\frac{1}{2} L i^2 + \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} = E_{ELMG}$$

Карактеристични величини

$$x \quad v \quad a = \frac{dv}{dt}$$

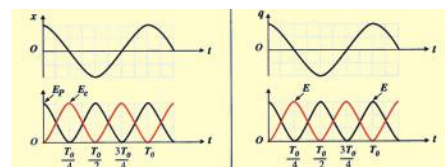
$$q \quad i \quad \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

Аналогни величини

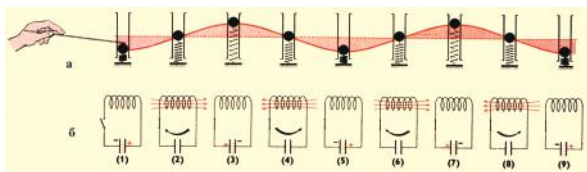
$$m \quad k$$

$$L \quad \frac{1}{C}$$

Временска зависност



Табела 1: Табеларен приказ на аналогијата меѓу механички и електромагнетни осцилации



Слика 22: а. Шематски приказ на механички осцилации на пружина со тег во тек на една полна осцилација;

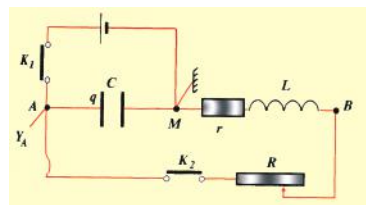
б. Шематски приказ на состојби на електричен осцилаторен круг во тек на една полна осцилација

Да запомниме:

- Електричните осцилаторни системи процесот на осцилирање го започнуваат со определено почетно количество енергија;
- Таа енергија се нарекува електромагнетна: се состои од електричната што се јавува кај кондензаторот и магнетната што се јавува во калемот;
- Во тек на слободни непридушени осцилации системот ја запазува енергијата;
- Сето тоа се случува на ист начин како со механичката енергија кај механичките системи;
- Постои голема аналогија меѓу електричните и механичките осцилации.

Непридушени електрични осцилации

Појавата на непридушени осцилации реално е многу ретка. За појава на вакви осцилации треба амплитудните вредности на променливите по законот на синусни величинини да не се менуваат. Овој критериум е последица на законот за запазување на енергија од определен тип во даден изолиран систем. Осцилаторните системи, иако, под претпоставка се земени како системи без електричен отпор за да се одбегнат или, во крајна можна линија, занемарат Џуловите загуби (Слика 24), сепак, имаат некои тивки, но, сепак, постојано присутни загуби. Имено, иако затворено осцилаторниот систем е слаб емитер на бранови. Брановите како процеси течат со одлив на енергија од изворите - во овој случај осцилаторниот круг.



Слика 23: Остварена сериска врска помеѓу отпорот, калемот и кондензаторот влијае на начинот на празнење на кондензаторот

При поголеми присутни отпори придрушањето лесно ќе се забележи на осцилопот според систематското намалување на постигнатите последователни амплитуди (График 1)

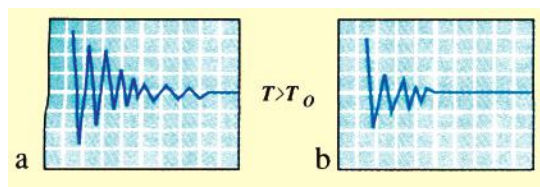
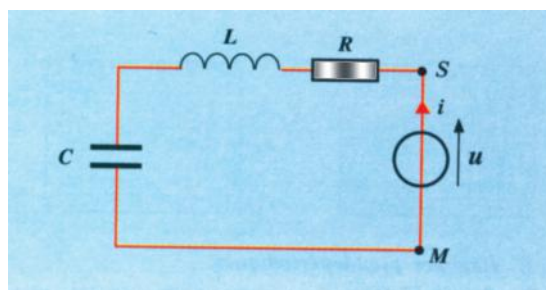


График 1: Приасутните омски отпори создаваат псеудо-периодичен режим на осцилирање

За оваа појава зборуваме како за *слободни непридушени осцилации*.

За да осцилациите се направат непридушени на кругот, постојано мора да му се додава електрична енергија за сметка на она што се трансформира во топлинска. Тоа дополнување се врши со точно утврден ритам на тој начин што плочите на кондензаторот периодично се сврзуват со извор на струја или пак во рамки на самиот осцилаторен круг се приклучи извор кој дава наизменична струја (Слика 25)

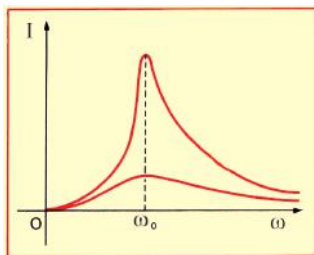


Слика 24: Шема на осцилаторен систем со поддршка на осцилациите. Системот за поддршка е прикажан како извор на периодичен напон и е сврзан меѓу точките М и С. Во суштина се работи за сложена електронска структура

Големината на амплитудите на ваквите, сега, *присилени осцилации* зависи како од пери-

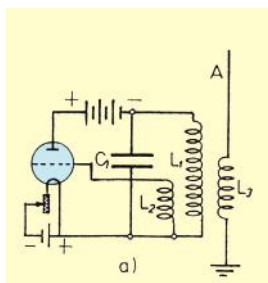
одичните својства на надворешната електромоторна сила, нејзината кружна фреквенција (ω) која има исто така осцилаторен карактер, и од својствата на самиот осцилаторен круг: капацитетот (C) и индуктивитетот (L). Најголема амплитуда во осцилациите се постигнува кога ќе се совпаднаат кружната фреквенција на надворешната сила на присила (ω) и сопствената фреквенција на осцилаторниот круг (ω_0). Во овие услови амплитудата е дотолку поголема доколку осцилаторниот круг има помал омски отпор, односно е круг со помали загуби.

Дефиниција: Појавата на растење на амплитудата на осцилациите кога фреквенцијата на надворешната сила на присила ќе ја има вредноста на фреквенција еднаква или приближно еднаква на сопствената се нарекува *резонанс*.



Слика 25: Резонансот настанува кога сопствената фреквенција и фреквенцијата на надворешната електромоторна сила на присила се изедначат

Математичкиот услов за појава на резонанс е $\omega = \omega_0$. Технички непридушените осцилации се добиваат со посебни уреди кои се викаат лампови генератори. Накусо, тоа е еден систем во кој по пат на повратна индуктивна врска системот успева да ја создаде потребната *периодична сила на присила* (Слика 27).



Слика 26: Повратната врска се остварува преку калемите L_1 и L_2 , а фреквенциите на добиените непридушени осцилации е дефинирана преку капацитетот на кондензаторот C_1 и индуктивитетот на калемот L_1

Да запомниме:

- Идеално гледано можни се непридушени осцилации;
- Реално сите осцилации се придушени;
- Придушувањето се регистрира според намалување на амплитудата;
- Осцилациите можат да се направат непридушени ако во системот се надополнуваат загубите;
- Наједноставно е да се искористи периодична сила на присила;
- При изедначување на фреквенциите на надворешната сила на присила и сопствената фреквенција на системот се обезбедува резонанс;
- Практично непридушени осцилации се добиваат преку повратна врска остварена во ламповите генератори или нивните современи транзисторски верзии.

Да го провериме своето знаење

1. Секое периодично движење е осцилаторно.

Да Не

2. Секое осцилаторно движење е периодично.

Да Не

3. Што е тоа осцилаторно движење?

4. Кои осцилации се хармониски?

5. Која сила се нарекува повратна и каква насока имаа таа?

6. Што е елонгација?

7. Колку елонгации има осцилаторот во текот на една осцилација?

8. Што е фаза на хармониско осцилаторно движење?

9. Наброј некоку примери на хармониско осцилаторно движење!

10. Дали зависи периодот на осцилирање на тело закачено на спирала од амплитудата?

11. Како масата на осцилаторот влијае на периодот на осцилациите?

11. Што е математичко нишало? Од што зависи неговиот период?

12. Во која точка од траекторијата на осцилаторното движење затегнатоста на спиралата е најголема, а во која најмала?

13. Како ќе се промени периодот на математичкото нишало во лифт кој се движи нагоре со забрзување a ?

14. Што е физичко нишало?

15. Кога физичкото нишало осцилира хармониски?

16. Што е редуцирана должина на физичкото нишало?

17. Што е придушено осцилаторно движење?

18. Што е присилено осцилаторно движење?

19. Кога настанува резонанција?

20. Објасни како се создаваат слободни непридушени електромагнетни осцилации.

21. Како може математички да се претстават електромагнетните осцилации?

22. Како може да се менува периодот на слободните електромагнетни осцилации?

Задачи за вежби

1. Тело осцилира хармониски со фреквенција 2Hz и амплитуда 5cm . После колку време фазата на осцилирање ќе биде еднаква на $\frac{\pi}{6}$, ако почетната фаза е нула? Колкава е елонгацијата во тој момент?

Одговор: $t=0,042\text{s}; x=2,5\text{cm}$

2. Елонгацијата на материјална точка која хармониски осцилира е: . Определи ја елонгацијата, брзината и забрзувањето на материјалната точка после $1/3\text{s}$!

Одговор: $x = 11\text{cm}; v = 20 \frac{\text{cm}}{\text{s}}; a = 108 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$

3. Амплитудата со која осцилира материјална точка е 5cm , време на една осцилација е 4s , а почетната фаза е $\frac{\pi}{2}$. напиши ја равенката на тоа осцилаторно движење!

Одговор:

4. Колкава е должината на математичкото нишало чиј период на осцилирање е $T=1250\text{ms}$ на местото каде Земјиното забрзување е $g=9,803 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$?

$$x = 12,5 \sin(\omega \sin \alpha_0) t$$

$$x = 5\text{cm} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{4\text{s}} \cdot t + \frac{\pi}{2}\right)$$

Одговор: $l=0,388\text{m}$

5. Тело со маса од 1kg е закачено на спирала. Кога ќе го повлечеме надолу за 5cm од рамнотежната положба и го пуштиме, тоа осцилира така што прави по една осцилација за една секунда.

а) Колкава е константата на пружината?

б) Колкава е брзината на телото кога минува низ рамнотежната положба?

в) Колкаво е максималното забрзување?

Одговор: а. $k = 39,44 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ б. $v = -31,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ в. $a = -197 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$.

6. LC осцилаторното коло се состои од кондензатор со капацитет од 50pF и калем со индуктивитет $10\mu\text{F}$.

а. Колкава е резонантната фреквенција на овој круг?

б. Колкав е периодот на електромагнетни осцилации?

Одговор: а. $7,12\text{MHz}$ б. $140,4\text{ns}$

7. Со колкав индуктивитет треба да биде калемот вклучен во електричниот осцилаторен круг, ако капацитетот на кондензаторот е 50pF , за да слободните осцилации добијат фреквенција од 10MHz ?

Одговор: $5,1\mu\text{H}$

6. Наизменични струи

Добивање на наизменични струи

З а појава на електричните струи еден од основните услови е одржување на потенцијална разлика на краевите од проводникот кој го претставува надворешниот дел од струјниот круг.

Дефиниција: Уредите со чија помош врз принцип на *магнетна индукција* се обезбедува потенцијална разлика на краевите на проводникот се викаат *електрични генератори*.

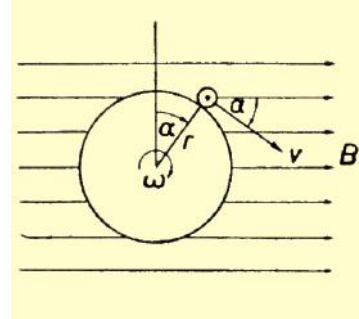
Во основа секој проводник кој се движи во магнетно поле и ги сече магнетните силиви линии може да се смета за електричен генератор. Веќе видовме дека, доколку имаме проводник кој се движи рамномерно праволиниски во хомогено магнетно поле и притоа векторот на магнетната индукција и векторот на брзината градат определен агол, големината на индуцираната електромоторна сила е определена со равенката:

$$\varepsilon = B \cdot l \cdot v \cdot \sin \alpha.$$

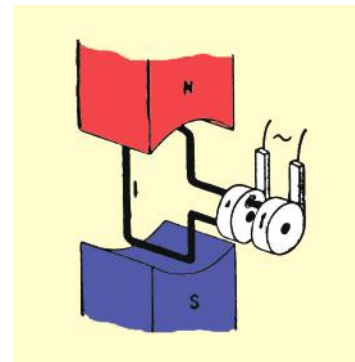
Со ваква електромоторна сила низ потрошувачот се добива права постојана струја. Но ваквите генератори од разумни причини не се конструираат и не се употребуваат.

Вежба: Образложи ги причините кои условуваат права постојана струја, а кои се сметаат за ограничувачки во употребата.

Основниот принцип на кој се засновува работата на генераторите е даден на (Слика 1). Се работи за проводник со должина l кој ротира со постојана аголна брзина ω во хомогено магнетно поле со магнетна индукција B при што опишува кружница со радиус r . Линиската брзина на проводникот е определена со изразот $v = \omega r$. Електромагнетот меѓу чии полови се формира хомогеното магнетно поле е *сџајлорой* на електричниот генератор, а проводникот кој ротира (во нашиот случај околу хоризонтална оска) е *ројлорой*. Дури се врти роторот ги сече магнетните силиви линии, при што аголот под кој тоа го прави се менува во тек на времето.



Слика 1: Принцип на генератор на наизменична струја: проводник ротира во магнетно поле



Слика 2: Модел на генератор на наизменична струја: правоаголна рамка ротира во хомогено магнетно поле

Вежба: Размисли за тоа каков ќе биде карактерот на потенцијалната разлика на краевите од проводникот што ротира. Дали краевите на проводникот секогаш ќе имаат ист потенцијал? Дали и кога ќе се промени поларитетот на индуцираната потенцијална разлика? Постојат ли положби за кои во проводникот не се индуцира напон?

Во кои положби на проводникот се индуцира најголема вредност на напонот?

Ако положбата на слика 2 ја означиме како почетна и при тоа аголот зафатен меѓу проводникот и магнетните силиви линии го земеме како почетен и еднаков на нула, за секоја друга положба на проводникот аголот ќе се промени и можеме да го определиме според формулата $\alpha = \omega \cdot t$. Во услови на вака променлив агол зафатен меѓу проводникот и векторот на маг-

нетната индукција за електромоторната сила важи равенката:

$$i = I_m \sin \omega t$$

Од равенката се гледа дека електромоторната сила добива периодично променлив карактер. Вредностите на електромоторната сила се менуваат со иста динамика како и насоката на векторот на брзината. Дури рамката направи едно цело завртување, електромоторната сила добиена во системот ќе ги добие сите свои можни вредности, менувајќи ја големината меѓу некоја минимална и некоја максимална вредност.

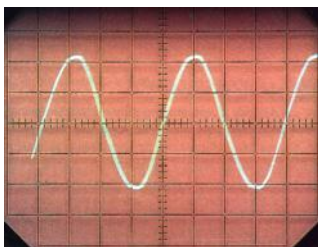
За да ги следиме моменталните вредности, производот $B \cdot l \cdot v$ ќе го земеме како константа на системот, бидејќи вредноста му зависи како од карактеристиките на статорот, големината на магнетната индукција B , така и од карактеристиките на роторот: должина на проводникот l , неговата брзината на движење на проводникот v и аголот зафатен помеѓу нив α . Значи:

$$\varepsilon_m = B \cdot l \cdot v \cdot \sin \alpha$$

ε_m е најголемата вредност што може да ја има на електромоторната сила. Бидејќи промените на електромоторната сила се од осцилаторен карактер, оваа максимална вредност ја нарекуваме **амплитуда на електромоторната сила**. Со оваа ознака електромоторната сила добиена во еден ваков систем го добива својот препознатлив облик:

$$\varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t$$

Гледаме дека **моменталните вредности на електромоторната сила** ε се менуваат (растат и опаѓаат) според *синусниот закон*. Согласно со Омовиот закон истите синусни промени ќе се јават и за јачината на струјата (Слика 3) која ќе минува низ приклучениот потрошувач и падот на напонот на краевите од потрошувачот на кои е сврзан осцилоскопот.



Слика 3: Синусоидната електромоторна сила дава синусоидна струја која предизвикува синусоиден пад на напон видлив на екранот на осцилоскопот. На синусоидата можат да се уочат периодот и амплитудниот пад на напонот

Дефиниција: Струи кои во текот на времето периодично ги менуваат вредностите ги нарекуваме *наизменични струи*.

Дефиниција: Времето што потребно да помине за да струјата почне повторно да ги поприма вредностите што веќе ги имала како по големина така и по насока, се нарекува **период** на наизменичната струја.

Дефиниција: Бројот на целосните промени на вредностите на струјата за време на една секунда се нарекува **фреквенција** на наизменичната струја.

Периодот се означува со T и се изразува во секунди (s), а фреквенцијата се означува со f и се изразува во херци (Hz). Математичката врска помеѓу периодот и фреквенцијата е позната:

$$T = \frac{1}{f}$$

Освен фреквенцијата карактеристиките на струјата обично ги даваме преку **кружна фреквенција** која ја означуваме со ω , а ја изразуваме во херци (Hz), бидејќи таа ги дефинира целосните промени на наизменичната струја во тек на 2π секунди:

$$\omega = 2\pi f \quad \text{и} \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

Според фреквенцијата наизменичните струи ги делиме на: *нискофреквенцни* (струи со ниска фреквенција) кога фреквенцијата е до $100Hz$ херци, на *средни* или *фонски фреквенции* со фреквенции до $20.000Hz$ и на крајот *високи* или *радио-фреквенцни* е струи со фреквенција над $20.000Hz$ па се до неколку милиони херци. Струите што ги употребуваме секојдневно се со ниски фреквенции: 50 херци за Европа и 60 херци за Америка. Високите фреквенции се карактеристични за струи во радио-техниката, телевизијата и радарската техника и телекомуникациите.

Бидејќи механичките својства на генераторите се ограничувачки фактор за добивање на струи со поголеми фреквенции и јачина, често пати во генераторите проводниците се спојуваат во серија со намера да се зголеми како амплитудната така и моменталната вредност на индуцираните струи. Струите и понатаму се со си-

нусоиден карактер на величините што ги карактеризираат.

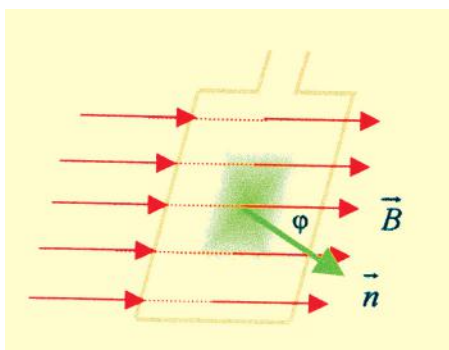
Теорија на генератор со правоаголна рамка како ротор

За случај на моделот кој се состои од рамка - ротор што ограничува површина S која е пронизувана од магнетното поле со магнетна индукција \vec{B} чиј што магнетен флуks се менува по законот:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha,$$

каде аголот α се менува по истиот закон како и аголот φ во претходните дискусии

Аголот во овој случај е зафатен меѓу векторот на магнетната индукција и нормалата \vec{n} повлечена во однос на површината S (Слика 4).



Слика 4: Моментната вредност на електромоторната сила што се индуцира во рамката зависи од аголот, зафатен меѓу векторот на магнетната индукција и нормалниот вектор во однос на површината на рамката

Временски променливиот карактер на флуksот, вклучен во определување на големината на индуцираната електромоторна сила преку Максвел-Фарадеев закон, дава формула со облик

$$\varepsilon = B \cdot S \cdot \omega \cdot \sin \omega t,$$

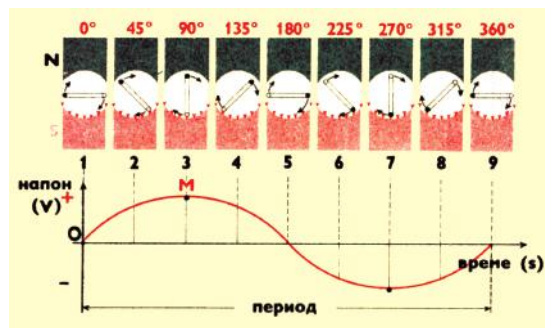
Величините B , S , ω како карактеристики на генераторот се константни величини така да нивниот производ дава нова величина ε_m

$$\varepsilon_m = B \cdot S \cdot \omega$$

Повторно се добива препознатливата аналитичка форма на електромоторната сила на индуцираните наизменични струи

$$\varepsilon = \varepsilon_m \cdot \sin \omega t$$

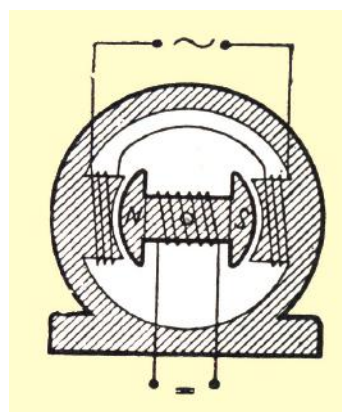
Вежба: Според шемите дадени на сликата направи кус опис на промените големините на индуцираните електромоторни сили во зависност од положбата на проводникот во однос на магнетното поле т.е. во зависност од положбата на рамката (Слика 5) во однос на магнетното поле.



Слика 5: При вртење на рамката две нејзини страни ги сечат магнетните силиви линии и во тек на едно завртување по еднаш минувајќи покрај половите на изворот

Индуцираниот напон поддржан од индуцираната електромоторна сила преку систем од лизгачки обрачи и четкички се пренесува во мрежата, а потоа и до потрошувачите.

За појавата на електромагнетната индукција не е важно дали проводникот се движи во однос на магнетното поле или полето се придвижува во однос на проводникот. Затоа може да се изврши замена на роторот и статорот: електромагнетот кој го создава полето да ротира (електромагнет-ротор), а калемите како проводници на чии краеве се добива индуцираната потенцијална разлика да станат статор. (Слика 6)



Слика 6: Шема на генератор со внатрешни полови

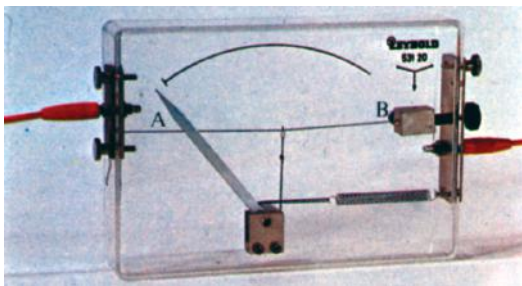
Забелешка: Електромагнетот се магнетизира со пропуштање на права постојана струја низ неговиот калемот која потекнува од мал генератор на истонасочна струја.

Да запомниме:

- Наизменичните струи се добиваат по принципите на магнетна индукција;
- Уреди кои се добиваат нарекуваат генератори;
- Генераторите се состојат од статор и ротор;
- Индуцираната електромоторна сила има синусен карактер;
- Ист таков карактер има и струјата предизвикана од потенцијалната разлика;
- Карактеристични величини се период, фреквенција, кружна фреквенција, амплитудните вредности и моменталните вредности.

Ефективни вредности

Мерењето на вредностите на наизменичните струи е доста тешко, бидејќи промените на вредностите на напонот и на јачината на струјата се случуваат многу бргу. Механичките делови на мерните инструменти, а тоа се стрелките, не можат да ги следат промените на наизменичната струја во текот на времето. Меѓутоа, ефектите на топлинско дејство што ги предизвикува наизменичната струја се идентични со оние на правата постојана струја. Едноставноста на определување на топлинското дејство дава можност да се направат мерни инструменти кои работат врз принцип на ефектите на Џуловата топлина (Слика 7).



Слика 7: Жичата АВ на која е закачена стрелката за мерење, се издолжува и ја придвижува стрелката благодарение на ослободената Џулова топлина

Дефиниција: Јачината на права постојана струја која за еднаков временски интервал ослободува исто количество топлина како и наизменичната ја определува **ефективна вредност на наизменичната струја**.

Условот да за исто време наизменичната и истонасочната постојана струја произведат исто топлинско дејство при математичкото утврдување на врската меѓу амплитудните вредности и ефективните вредности бара процесот на ослободување на топлина да биде проследен во тек на еден подолг временски интервал спореден со периодот на наизменичните струи ($\Delta t \gg T$). Имено, промените што се случуваат во тек на еден период треба повеќекратно да се повторат за да се уочат усреднетите топлински ефекти на Џуловата топлина во услови на термодинамичка рамнотежа.

Количеството топлина ослободено при протекување на права постојана струја во тек на еден период е даден со **Џул-Ленцовиот закон** и е определено со јачината на струјата и термогениот отпор на тој дел од струјното коло

а онаа што во тек на истиот временски интервал од еден период ја ослободува наизменичната струја е:

$$Q_n = \frac{R \cdot I_m^2 \cdot T}{2}$$

Од условот $Q_p = Q_n$ се добива клучната врска:

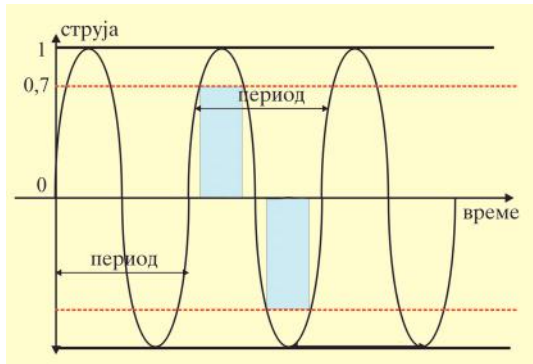
$$I^2 = \frac{I_m^2}{2} \text{ или } I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$I = \frac{7}{10} I_m$$

Заклучок: Ефективната вредност на наизменичната струја претставува $\frac{7}{10}$ од амплитудната вредност на наизменичната струја.

Очигледно дека ефективната вредност е висока од од средната вредност на најмалата и најголемата апсолутна вредност на моменталната јачина на струјата. Тоа е последица на синусниот карактер на наизменичната струја која во

тек на еден период во тек на $\frac{1}{3}$ од периодот има вредности помали од $\frac{I_m}{2}$, а во тек на $\frac{2}{3}$ од периодот има вредност поголема од $\frac{I_m}{2}$. (Слика 8)



Слика 8: Од сликата јасно се гледа соодносот 1:2 на временските интервали во кои струјата е помала од $0,7I_m$ и поголема од $0,7I_m$

Забелешка: Често пати наместо само I ефективната вредност се означува со I_{ef}

Резултатот може да се воопшти за било која синусна функција $Y = Y_m \cdot \sin \omega t$, така да ефективната вредност за синусно променливата величина секогаш е определена како

$$Y = 0,707Y_m$$

Значи, за ефективната вредност на електромоторната сила и за ефективна вредност на напонот важат равенките:

$$\varepsilon = 0,707 \cdot \varepsilon_m \text{ и } U = 0,707 \cdot U_m$$

Вежба: Колку изнесува максималниот напон на наизменичната струја ако приклучениот волтметар покажува напон од 220 волти.

Забелешка: Во практиката најчесто во пресметките се користат ефективните вредности. Но, има случаи кога максималната вредност и со така треба да се познава. На пример: при пробив на изолација, при издржливост на кондензаторите, при палење на неонските светилки и сл. Затоа кај градските мрежи кога ја проценуваме опасноста, треба да сметаме со напон од 310 волти.

Да запомниме:

- промените на наизменичните струи не можат да се следат со помош на амперметар и волтметар;
- преку топлинското дејство се определува ефективната вредност на јачината на струјата;
- ефективните вредности се поголеми од средната вредност на минималната и максималната вредност, а помала од максималната.

Струен круг на наизменична струја

Познато ни е дека во струен круг на права постојана струја кога електромоторната сила одржува постојана потенцијална разлика, насоченото движење на полнежите е поврзано со електрично поле чија јачина е постојана. Овие услови даваат константна моќност и константна електромагнетната енергија на струјниот круг во тек на било кој и било каков избран временски интервал.

Во струен круг на наизменична струја доаѓа до периодични промени како на големината, така и на насоката на потенцијалната разлика што ја обезбедува наизменичната електромоторна сила. Струјата во таквиот круг има променлива јачина предизвикана од периодично променливо електрично поле. Затоа таа создава променливо магнетно поле. Со својствата на променливото магнетно поле се поврзани ефектите на самоиндуцирана електромоторна сила.

Ако во ваков струен круг има термоген отпор електричната енергија на струјата, се претвора во топлинска во зависност од моментната јачина на струјата. Тоа значи дека брзината на претворање на енергијата како и снагата на колото ќе бидат временски променливи величини.

Заклучок: Течењето на електрична струја во струен круг со извор на променлива електромоторна сила е поврзана со дополнителни ефекти условени од поведението на јачината на струјата во струјниот круг.

Карактеристиките на секој струен круг преку кои се влијае на состојбата на струјниот круг се определени со термоген отпор, индуктивитет на проводниците и нивниот капацитет. Меѓутоа, во зависност од конкретните случаи определени

карактеристики можат да се занемарат и да се добијат специфични ефекти.

Важна забелешка: За струите кои имаат променлива јачина во текот на времето, како што се синусоидните струи, кога промените не се многу брзи, во секој момент важат, законите и правилата на правата постојана струја. Во оваа група на струи спаѓаат и наизменичните струи со фреквенција од 50Hz

1. Правило за количество електричество

Количеството електричество ΔQ пренесено во тек на доволно мал временски интервал за промените на струите да бидат забележани е дадено со равенката

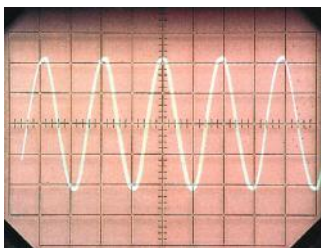
2. Закон за јачините на струите

Во секој момент важи: $i=i_1+i_2$

Ако на влезот на електронски осцилограф (Слика 9) се донесе синусоиден напон на екранот може да се следат криви кои се функции на промените. Во случај на синусоидни промени кривата е синусоида (Слика 10). Осцилографот, всушност, претставува волтметар за променливиот напон кој го дава поведението на моменталните вредности. За неговата работа практично не се ангажира никаква струја од струјниот круг.

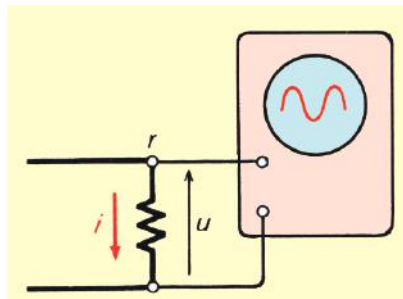


Слика 9: Генератор на наизменичен напон е врзан на влезот А на осцилокопот



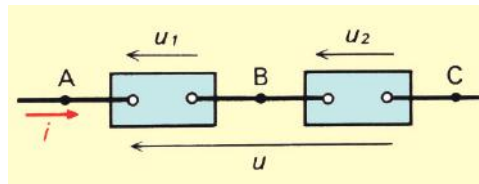
Слика 10: На екранот се гледа осцилограмот на промените на напонот

За следење на промените на јачината на струјата со електронскиот осцилокоп се користи отпор r кој предизвикува пад на напон. Кривата што ќе се добие ја претставува функцијата на зависност на јачината на струјата од времето. За синусоидни струи кривата ќе биде синусоида (Слика 11).



Слика 11: Шема на приклучување на осцилокопот за следење на промените на јачината на струјата

3. Законот за напоните важи за било кој случајно избран временски момент во случај на вклучени термогени отпори (Слика 12) е даден со равенките:



Слика 12: Термогените отпори се сериски врзани и низ нив во секој момент поминува струја со иста моментна јачина

или:

$$u = u_1 + u_2$$

Математички додаток:

За наизменичните синусоидни струи ќе ја користиме следнава математика:

1. Јачината на струјата ќе ја претставуваме со равенката:

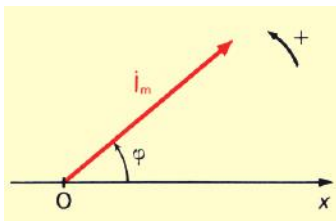
$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

i е моменталната јачина на струјата, I_m е максималната јачина на струјата. Ако f е фреквенција, а T период, тогаш важи равенката:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

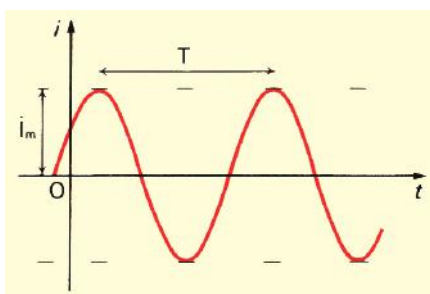
Ефективната јачина на струја ќе ја означуваме со I или I_{ef}

и можеме да го претставиме во Френелова рамнина како на Слика 13.



Слика 13: Во Френеловата рамнина покрај оската x која при $\varphi=0$ се нарекува и оска на струјата, лежи и векторот на јачината на струјата I_m

Графикот на јачината на струјата е даден на Слика 14.



Слика 14: Синусоидата на струјата што одговара на векторот на јачината на струјата го има и фазното избрзување на струјата (почетна фаза φ)

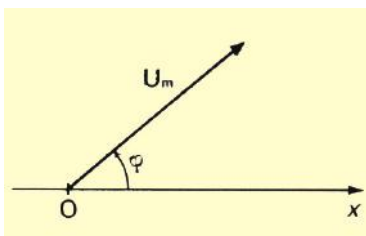
Термогениот амперметар ја покажува ефективната вредност на јачината на струјата.

2. Напонот ќе го претставуваме со равенката

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$$

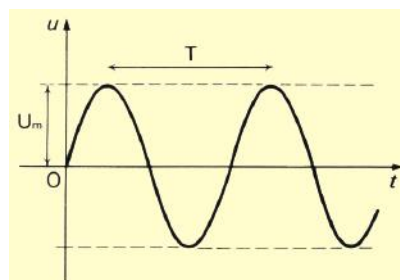
u е моментална вредност на јачината на струјата, U_m максималниот напон.

и можеме да го претставиме во Френелова рамнина како на Слика 15.



Слика 15: Во Френеловата рамнина лежи векторот на напонот U_m кој со оската x зафаќа агол φ

Графикот на напонот на струјата е даден како синусоида на Слика 16.



Слика 16: Синусоидата на напонот при фазен агол еднаков на нула

Волтметарот за наизменични струи ги дава ефективните вредности.

Да запомниме:

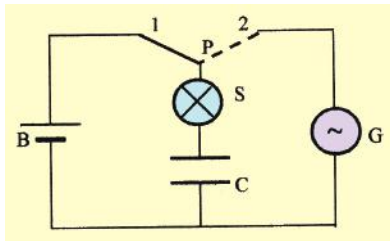
- синусоидните струи се променливи наизменични струи;
- јачината на струјата и напонот се менуваат според синусниот закон со ист период на промени;
- кај овие величини разликуваме моментална, максимална и ефективна вредност
- прикажувањето на синусоидните промени можеме да го вршиме аналитички со формула, графички со синусоида и векторски со *Френелови вектори*;
- волтметарот и амперметарот вклучени во струјниот круг ги покажуваат ефективните вредности.

Омов закон за капацитет

Ефектот на капацитетот врз наизменичните струи

Обид 1: Знаеме дека при сврзување на кондензатор за полови на извор на еднонасочна постојана струја (Слика 17) (положба 1 на прекинувачот P) се јавува само краткотрајна струја на полнење на кондензаторот. Диелектрикот се спротивставува на поминување на постојаната струја. Во случај на наизменични струи работите се случуваат поинаку (положба 2 на прекинувачот P го вклучува генера-

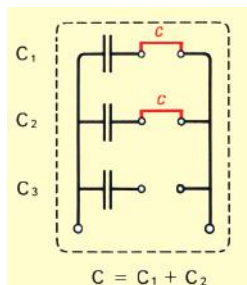
торот G). Кондензаторот C се полни и празни наизменично прво во една насока, а потоа во друга насока. Струјата тече и светилката S свети.



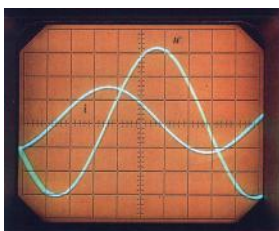
Слика 17: Диелектрикот на кондензаторот не ја пропушта правата струја, но наизменичната струја и покрај него успева да даде ефект на течење на струја

Заклучок: Кондензаторот овозможува течење на наизменична струја.

Обид 2: Користиме кондензаторска батерија (во чија внатрешност се сместени кондензатори со капацитети C_1, C_2, C_3) чиј што капацитет може да се зголемува со премостување со бакарни плочки c (Слика 18). Со електронски осцилоскоп се регистрира во исто време јачината на струјата i со помош на отпор r како и напонот меѓу спојките на кондензаторската батерија, u (Слика 19).



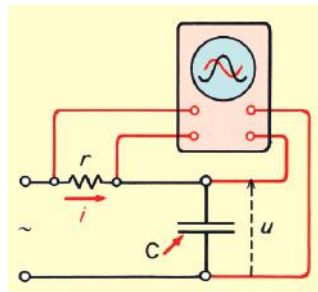
Слика 18: Кондензаторска батерија составена од кондензатори C_1, C_2 и C_3 може да даде различни еквивалентни отпори



Слика 19: Со зголемување на капацитетот максимумот на кривата на јачината на струјата се издига, а на напонот не се менува. Кривата на струјата се повеќе избрзува пред напонот

Зголемувајќи го капацитетот C , максимумот на напонот U_m останува на исто место, меѓутоа, точката на максимумот на кривата на струјата се поместува нагоре (Слика 20) или поинаку кажано:

- амплитудната вредност на јачината на струјата I_m се зголемува
- моменталните вредности на јачината на струјата i , за четвртина од периодот избрзуваат пред напонот.



Слика 20: Вклучениот отпор r овозможува истовремено да се следат промените на напонот и промените на јачината на струјата

Накратко: Капацитетот го овозможува протокот на наизменичните струи и ја избрзува струјата во однос на напонот.

Израз за напонот како функција од јачината на струјата

Во секој момент за кондензаторот важи релацијата $q = C \cdot u$. За определување на вкупното количество електричество донесено на облогите треба да ги собереме сите количества електричества донесени во тек на доволно мали временски интервали, во тек на кои промената во јачината на струјата не се забележува. Обработката на изразите не доведува до изразот:

Ако земеме дека $U_m = \frac{I_m}{C\omega}$ тогаш можеме да

ставиме:

$$R_c = \frac{1}{C\omega}$$

Ознаката R_c е за **капацитивниот отпор**. За падот на напонот меѓу облогите на кондензаторот добиваме:

$$U_c = I \cdot R_c .$$

Заклучок: Формулата $R_c = \frac{1}{C\omega}$ пока-

жува дека капацитивниот отпор зависи од карактеристиките на конструкцијата: капацитетот на кондензаторот C и кружната фреквенција на струјата ω што низ неа минува.

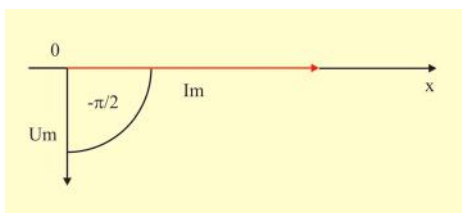
За даден ефективен напон, приложен на кондензаторските плочи, ефективната јачина на струјата ќе биде $I=UC\omega$ и е дотолку поголема доколку

- капацитетот е поголем што беше и експериментално констатирано;
- кружната фреквенција на струјата е поголема.

Капацитетот ја форсира (избрзува) струјата пред напонот за четвртина од периодот, или фазното избрзување на струјата во однос на

напонот е $\frac{\pi}{2}$.

Ако на напонот му припишеме векторски својства, а исто така и на јачината на струјата, тогаш можеме со нив како со Френелови вектори да направиме *векторски дијаграм* на којшто јасно ќе се гледа фазниот однос меѓу јачината на струјата и напонот прикажано во однос на оската на струјата. (Слика 21)



Слика 21: Според векторскиот дијаграм векторот на јачината на струјата избрзува пред векторот на напонот

Да запомниме:

- кондензаторот влијае врз јачината на струјата во круг на наизменична струја;
- капацитетот ја избрзува јачината на струјата за четвртина од период во однос на напонот;

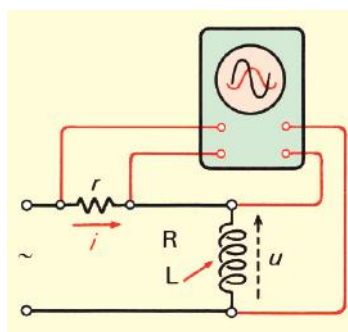
- капацитетот создава впечаток на постоечки капацитивен отпор R_c ;
- капацитивниот отпор зависи од својствата на кондензаторот капацитетот C и својствата на струјата во струјниот круг, кружната фреквенција ω ;
- Омовиот закон важи во ист математички облик и во случај на овој отпор $U=R_c I$.

Омов закон за индуктивниот

Забелешка: Калемот се карактеризира со омскиот отпор на неговата жица R и со нејзиниот индуктивитет L . Тој може да се искористи како пример за **индуктивен отпор**. Омовиот закон е врска што постои помеѓу напонот на краевите на калемот и јачината на струјата што минува низ него.

Ефектот на индуктивниот врз наизменичната струја

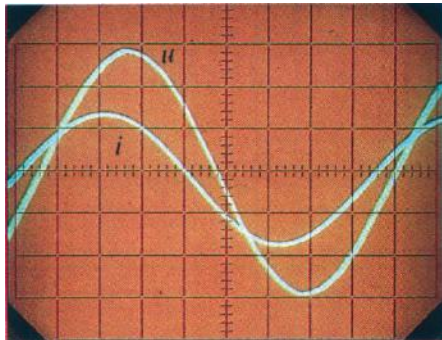
Обид: Се користи калем во кој може да се внесува јадро од меко железо. Во вакви услови отпорот R на калемот останува непроменет, а индуктивитетот L се зголемува. Електронски осцилоскоп истовремено ги регистрира јачината на струјата i , со помош на отпорникот r и напонот u на краевите од калемот (Слика 22).



Слика 22: Калемот се карактеризира со променлив индуктивитет L , менлив со помош на јадро од меко железо и омски отпор R

Се добива дека се додека индуктивитетот L се зголемува максималниот напон останува ист, но точката на максимумот на кривата (синусоидата) на јачината на струјата се поместува во позитивна насока. (Слика 23). Поинаку кажано:

- максималната вредност на јачината на струјата се намалува;
- моменталните вредности i на јачината на струјата се во задоцнување во однос на напонот. Задоцнувањето се зголемува со зголемување на индуктивитетот L .



Слика 23: При зголемување на индуктивитетот максимумот на струјата се спушта и се поместува на десно, а максимумот на напонот не се менува. Струјата доцни во однос на напонот.

Заклучок: Индуктивитетот ја обликува и задоцнува наизменичната струја.

Израз за напонот во зависност од функцијата на струјата

Моменталните вредности при поминување на струјата со променлив карактер низ калемот се зависни од ефектите на електромагнетната индукција во случајот добиена како самоиндукција

$$\varepsilon_s = -L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

Примената на Омовиот закон за било кој временски момент t , $u = Ri - \varepsilon_s$ дава

$$u = Ri + L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

Во еден ваков случај ефективните вредности во случај на синусоидна струја се определуваат, тргнувајќи од формулата $i = I_0 \sin \omega t$, а потоа со замена во формулата што го претставува Омовиот закон се добива:

$$u = RI_m \sin \omega t + L\omega I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right).$$

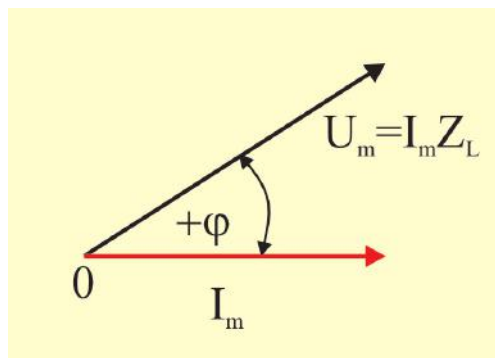
Со помош на правилото на Френел (Слика 24) ние можеме да извршиме сумирање на синусоидни функции со тоа што првата функција

$u_R = RI_m \sin \omega t$ ќе биде претставена со вектор \vec{U}_R кој лежи на оската на струјата, а функцијата

$u_L = L\omega I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$ со вектор \vec{U}_L кој во однос

на оската на струјата ќе зафаќа агол $+\frac{\pi}{2}$. Со

собирање (адиција) на овие две синусоидни функции се добива функцијата $u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$.



Слика 24: Според векторскиот дијаграм векторот на јачината на струјата доцни во однос на напонот за агол φ . Аголот е дотолку поголем, доколку омскиот отпор на калемот е помал

Според теоремата на Питагора следува:

$$U_m^2 = (R^2 + L^2 \omega^2) I_m^2,$$

односно:

$$U_m = (\sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}) \cdot I_m.$$

ако ставиме:

$$Z_L = \sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}$$

тогаш:

$$U_m = Z_L \cdot I_m.$$

Ако оваа равенка се подели со $\sqrt{2}$ за ефективните вредности на напонот и јачината на струјата важи равенката:

$$U = Z_L \cdot I$$

која го претставува Омовиот закон за струен круг со вклучен индуктивитет.

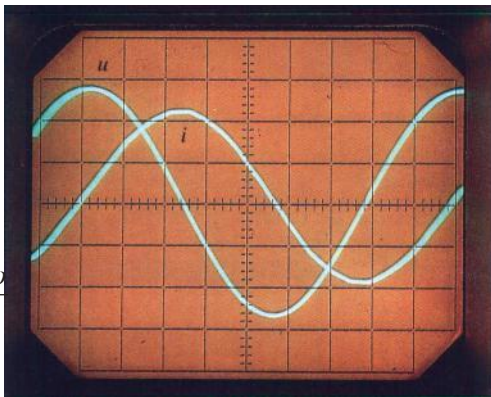
Вежба: Определи ги единиците на физичките величини вклучени во законот.

Заклучок: За дадена фреквенција ефективниот напонот и ефективната јачина на струјата се пропорционални. Факторот Z_L кој игра улога слична на отпорот во случај на постојана струја се нарекува **импенданса на калемот**.

Фазно изместување

Со примена на векторите на Френел за u и i видовме дека јачината на струјата е во задоцнување во однос на напонот, како што покажа експериментот (Слика 25) кога во струјниот круг е калем за кој важи:

$$L\omega \gg R$$



Слика 25: Во услови на занемарен омски отпор максимумот на напонот истовремено би се јавил кога и минимумот на јачината на струјата

Аголот на фазното задоцнување можеме да го пресметаме со формулата:

φ се зголемува ако се зголемува L се до вредност . Тоа важи кога $L\omega \gg R$. Тогаш велíme дека калемот е *чиста индуктивност* и отпорот што тој го создава го нарекуваме **индуктивен отпор** и го означуваме со R_L . За R_L важи:

Задоцнувањето тогаш изнесува точно $\frac{\pi}{2}$.

Заклучок:

Релацијата $Z_L = \sqrt{R^2 + L^2\omega^2}$ покажува дека импендансата на индуктивниот отпор зависи во исто време од карактеристиките на конструкцијата: омскиот отпор R и индуктивитетот L , и од кружната фреквенција ω на наизменичната струја што минува низ калемот.

За даден ефективен напон U приложен на краевите од калемот, ефективната јачина I на струјата определена со изразот:

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

е дотолку послаба доколку:

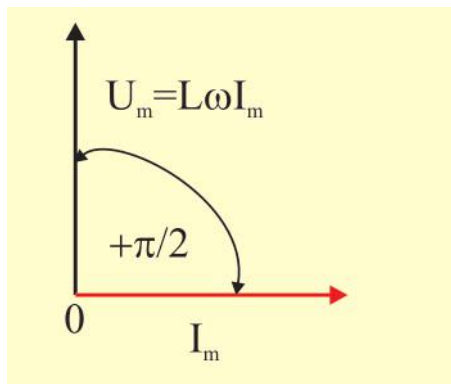
- индуктивитетот L е поголем, што веќе го утврдивме;
- фреквенцијата е поголема во услови кога $L \neq 0$.

На крајот: индуктивитетот ја задоцнува струјата во однос на напонот.

Да запоминеме:

- калемот влијае врз јачината на струјата во круг на наизменична струја;
- индуктивитетот ја избрзува јачината на струјата за четвртина од период во однос на напонот;
- индуктивитетот создава впечаток на постоечки индуктивен отпор R_L ;
- индуктивниот отпор зависи од својствата на калемот, индуктивитетот L и својствата на струјата во струјниот круг, кружната фреквенција ω ;
- калемот заради омскиот отпор на жицата има карактеристика наречена импенданса на калемот која зависи од омскиот отпор, индуктивитетот и кружната фреквенција;
- во најопшт случај калемот ја избрзува јачината на струјата во однос на напонот за некој фазен агол φ ;

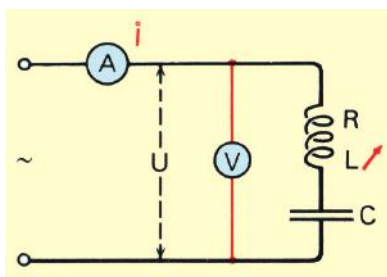
- Омовиот закон важи во ист математички облик и во случај на овој отпор $U = R_L I$.



Слика 26: Френеловиот дијаграм во услови кога омскиот отпор на калемот е занемарен покажува дека струјата го постигнува своето најголемо фазно задоцнување за $\pi/2$

Омов закон за сериска врска на термоген отпор, индуктивитет и капацитет за наизменична струја. Импенданса

Обид 1: Сериски сврзуваме: калем чиј што индуктивитет можеме да го менуваме со постепено внесување на јадро на меко железно во него и кондензатор. (Слика 27)



Слика 27: Додека напонот останува константен, јачината на струјата се менува минувајќи низ максимум доколку во струјниот круг сериски се сврзани калем и кондензатор

Со амперметар и волтметар ги мериме ефективните вредности на јачината на струјата и напонот, I и U .

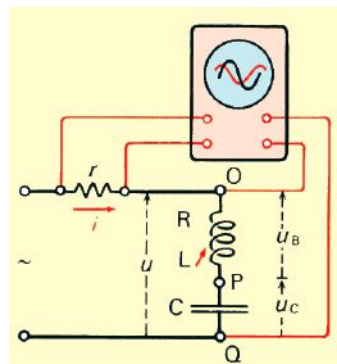
Ефективната вредност на напонот ја одржуваме постојана и забележуваме дека при внесување на јадрото од мекото железо во калемот ефективната вредност на јачината на струјата се зголемува, минува низ некоја максимална вредност која ние ја означуваме како *резонанс* и по-

тоа се намалува. Минувањето низ максимум се набљудува без да се престане со зголемувањето на индуктивитетот (Слика 28).

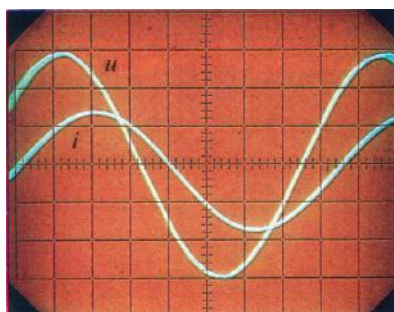
Можеме да кажеме дека *резонансој* во струјниот круг се случува кога импендансата е минимална, или со равенка:

Следејќи ги осцилограмите на напонот и јачината на струјата на електронскиот осцилоскоп според шемата (Слика 29), во зависност од импендансот кој се зголемува, ќе забележиме дека кривата на јачината i на струјата се поместува или попрецизно:

- пред резонансот кривата на јачината на струјата i е пред кривата на напонот u ;
- во резонанс, јачината на струјата е во фаза со напонот (Слика 30);
- по резонанс јачината на струјата е во задоцнување во однос на напонот.



Слика 28: Минувањето низ максимумот на кривата на струјата и неговото совпаѓање со максимумот на кривата на напонот, може да се следи на електронски осцилоскоп



Слика 29: Пред да се постигне резонанс напонот избрзува пред струјата која има низок максимум

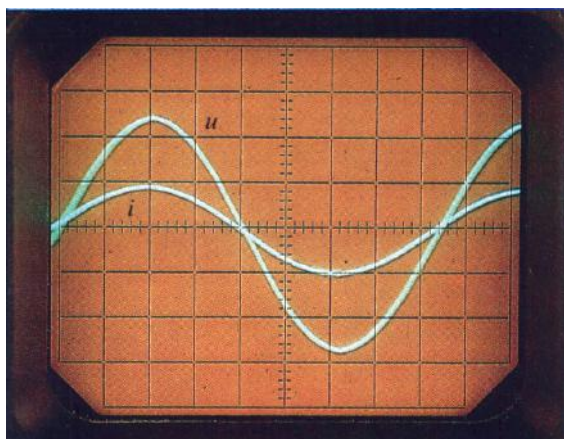
Толкување на ѝојавиџа

Моментните вредности во нашиот случај ќе ги определиме врз основа на *законой за наѝо-ни*. За било кој временски момент важи: $V_M - V_P = (V_M - V_N) + (V_N - V_P)$ бидејќи $u = u_L + u_C$. Напонот на краевите од калемот е даден со

равенката: $u_L = Ri + L \frac{\Delta i}{\Delta t}$, а помеѓу плочите на

кондензаторот: $u_C = \frac{q}{C}$, од каде

$$u = Ri + L \frac{\Delta i}{\Delta t} + \frac{q}{C}.$$



Слика 30: Во услови на резонанс струјата е во фаза со напонот

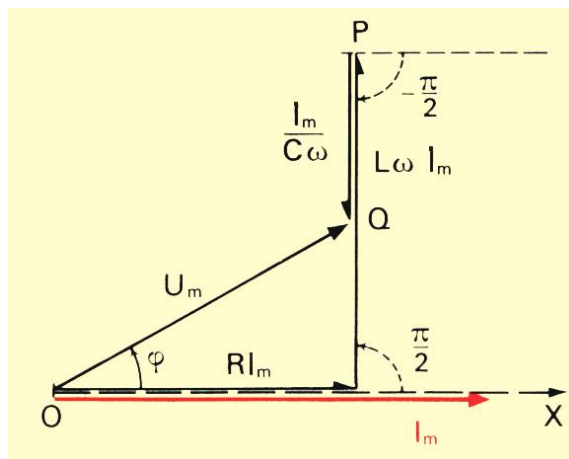
Користејќи ги веќе опишаните постапки за разработка на моментните вредности на јачината на струјата и напонот за напонот u ја добиваме следнава формула:

$$u = RI_m \sin \omega t + L\omega I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) + \frac{I_m}{C\omega} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

Повторно користејќи го *ѝравилоѝо на Френел* за собирање (адисија) на синусните функции преку воведување на вектори \vec{U}_R каде

$$U_R = RI, \vec{U}_L, \text{ каде } U_L = L\omega I_m \text{ и } \vec{U}_C \text{ каде } U_C = \frac{I}{C\omega},$$

добиваме нова синусна функција $u = U_m \sin(\omega t \pm \varphi)$ (Слика 31).



Слика 31: При практично присуство на сите три вида на отпори: индуктивен, омски и капацитивен, со адисија на Френеловите вектори на напон можеме да прикажеме и Френелови вектори на отпори R_L, R и R_C а потоа да го определиме вкупниот отпор Z и фазниот агол φ

Повторно со користење на *ѝеоремаѝа на Пиѝаѝора* добиваме дека:

$$U_m^2 = \left[R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2 \right] \cdot I_m^2,$$

односно:

$$U_m = \left[\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2} \right] \cdot I_m.$$

Воведуваме ознака Z за изразот

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2} \text{ и го нарекуваме } \mathbf{импенданс}$$

на струјниот круг. Тогаш за амплитудната вредност на напонот на врската важи $U_m = Z \cdot I_m$.

Ако поделиме со $\sqrt{2}$ ќе ја добиеме истата равенка за ефективни вредности: $U = Z \cdot I$.

Важен заклучок: Импендансата (вкупниот отпор) на струјниот круг на наизменична струја не е збир од импенданси (отпорите) на вклучените елементи.

Од дијаграмот на Френел (векторскиот дијаграм) се гледа дека:

Дискусија:

1. Ако $L\omega < \frac{1}{C\omega}$, тогаш $\varphi < 0$ и јачината на струјата му претходи на напонот. Струјата избрзува пред напонот, капацитивните својства се поизразени од индуктивните.

2. Ако $L\omega = \frac{1}{C\omega}$, тогаш $\varphi = 0$ и јачината на струјата и напонот се во фаза. Капацитивните и индуктивните својства се компензираат.

3. Ако $L\omega > \frac{1}{C\omega}$, тогаш $\varphi > 0$ и јачината на струјата задоцнува во однос на напонот. Индуктивните својства се поизразени од капацитивните.

Резонанција

Ако $L\omega = \frac{1}{C\omega}$, изразот $\left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2$ е нула и неговите последици во колото се минимални, тоа пак значи дека импедансата Z е минимална а $I = \frac{U}{Z}$ јачината на струјата максимална за дадена вредност на ефективниот напон.

Ако услови за резонанција $L\omega = \frac{1}{C\omega}$ е исполнет велиме дека струјниот круг е усогласен со фреквенцијата на применетиот напон.

Значи:

1. При резонанција $Z=R$ и
2. При резонанција јачината на струјата и напонот се во фаза, $\varphi = 0$.

Селективност на колото при резонанција

Да го разгледаме веќе изучениот струен круг сврзан сега на константен ефективен напон, но

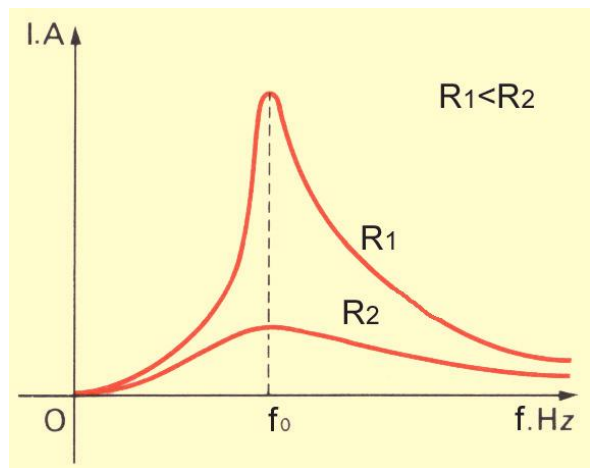
со променлива фреквенција, За тоа се користи посебен генератор кој дава напон со променлива фреквенција. Ке ги проследиме промените на ефективната вредност на јачината на струјата I во зависност од фреквенцијата f .

При резонанција I е максимално, за фреквенција f_0 која ја нарекуваме **сопствена фреквенција** на струјниот круг. Таа фреквенција f_0 одговара на кружна фреквенција ω_0 ,

Таа е определена со условот:

$$L\omega_0 = \frac{1}{C\omega_0}$$

Снимени се две криви кои одговараат на два термогени отпори R во струјниот круг (Слика 32).



Слика 32: Кругот е селективен за што појака струја освен мал омски отпор потребно е да се совпадна сопствената фреквенција на кругот и фреквенцијата на изворот. Тогаш забележливи струи се јавуваат само за фреквенции блиски со резонантната, а за другите таа практично е еднаква на нула

Забележуваме:

1. Ако $R \ll L\omega_0$ максимумот на кривата е силно изразен: велиме дека резонанцијата е *оси́ра*. Јачината на струјата брзо опаѓа ако фреквенцијата се оддалечува од резонантната фреквенција. Низ струјниот круг тече струја споредлива со она при резонанцијата само за тесен интервал на фреквенции. Велиме дека струјниот круг е *селективен*.

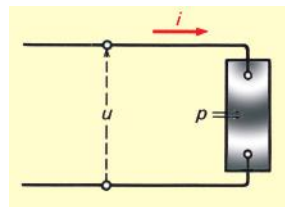
2. Ако отпорот станува многу позначаен од другите пасивни отпори, резонанцата е разлеана и кругот е помалку селективен.

Да запомниме:

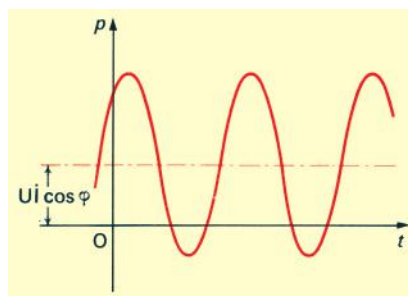
- калемот и кондензаторот влијаат врз јачината на наизменичната струја;
- во случај на доминантни капацитативни својства на кругот струјата избрзува пред напонот, а при доминантни индуктивни својства струјата задоцнува во однос на напонот;
- во кругот постои заеднички отпор наречен импеданс чија вредност зависи од отпорот и индуктивитетот на калемот и капацитетот на кондензаторот;
- јачината на струјата и напонот во овие услови е поврзана преку Омовиот закон;
- јачината на струјата е најголема кога импедансот е најмал;
- тоа се остварува во услови на *резонанција* кога сопствената фреквенција на кругот е постигната во зависност од својствата на кондензаторот и калемот;
- врз обликот на резонанцијата влијае омскиот отпор на кругот.

или:

$$p = \frac{I_m \cdot U_m}{2} [\cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi)]$$



Слика 33: Наизменична струја може да минува низ калем, кондензатор и омски отпор



Слика 34: Графички приказ на моќност

Со користење на ефективни вредности на јачината на струјата и напонот I и U се добива:

$$p = U \cdot I \cdot \cos \varphi - U \cdot I \cdot \cos(2\omega t + \varphi)$$

Електрична моќност

Ако i е јачината на струјата која минува низ уредот (калем, кондензатор, електричен мотор, и т.н.), а u потенцијална разлика во било кој временски момент (Слика 33), електричната моќност ослободена во дадениот уред е определена со:

Вежба: Определи ги единиците за дадените физички величини!

За случај на синусоидна струја

Во случај на синусоидна струја (Слика 34) кога:

$$u = U_m \sin(\omega t \pm \varphi)$$

моќноста е:

$$p = i \cdot u = I_m U_m \sin \omega t \cdot \sin(\omega t \pm \varphi)$$

Забелешка:

1. p е периодичнаа функција на која $U \cdot I \cdot \cos \varphi$ и е средна вредност се нарекува **активна моќност**.
2. Ако $p < 0$ уредот ја снабдува со електрична енергија, мрежата и се претвара во генератор.

Потрошена електрична енергија

Во тек на многу мал вреемнски интервал Δt промените на моќноста се занемарливи и потрошената енергија е _____, ако времето се изразува во секунди (s), моќноста во вати (W), а потрошената енергија во џули.

Во тек на еден временски интервал t кој се состои од цел број на периоди _____ ослободената (потрошената) електрична енергија е збир од енергиите потрошени во последователните

мали временски интервали Δt кои го чинат временски интервал t .

Прецизните математички пресметки вкупната потрошена електрична енергија ја определуваат со изразот:

$$W = U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot t.$$

За време на еден временски интервал многу поголем од периодот (периодот на струите од мрежата изнесува: $\frac{1}{50} s = 0,02 s$) изразот останува употреблив со опасност да се направи грешка ред големина $\frac{T}{t}$ што е занемарливо.

Електричен бројач за потрошената електрична енергија ја мери енергијата потрошена од страна на инсталацијата. Апаратите обично се баждарени во kWh (киловатчасови), а не во J (џули) (Слика 35)



Слика 35: Покрај класичните електрични бројачи, постојат и електронски. И кај едните и кај другите потрошената енергија се мери во килватчасови (kWh)

Вежба: Изрази ги килватчасовите (kWh) во џули (J).

Активна моќност

Ослободената електрична енергија е пропорционална со времето на нејзиното искористување t , така да за $t \gg T$, каде $T=kt$, константниот однос $\frac{W}{t}$ ја определува **активната моќност** е

определена со изразот:

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Вежба: Провери ги единиците на споменатите физички величини!

Изразот за ефективна моќност содржи:

1. Прв дел $U \cdot I$ наречен **привидна моќност**, дадена во волт.ампери
2. Втор дел $\cos \varphi$, наречен **фактор на моќност**.

Да се потсетиме дека претставува **агол на фазно изместување** помеѓу напонот и јачината на струјата.

Фактор на моќност

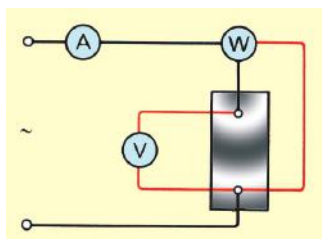
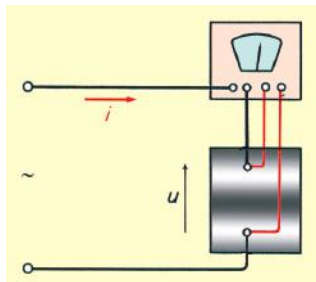
Да претпоставиме дека имаме два потрошувачи, со различни фактори на моќност (), кои трошат исто количество на енергија. Ако $U \cdot I \cdot \cos \varphi_1 \cdot t = U \cdot I_2 \cos \varphi_2 \cdot t$, следи дека $I_1 < I_2$. Втората инсталација (потрошувач) троши повеќе струја со што дава повеќе загуби заради џуловиот ефект (R^2). Овие загуби се на товар на компанијата за дистрибуција заради што на поголемите потрошувачи им се даваат подобности за да нивните електрични потрошувачи имаат што е можно поголема моќност.

Вежба: Како може да се подобри факторот на моќност кај некоја инсталација?

Ако инсталацијата се состои од апарати за загревање, од мотори и слично и нивните роторски делови имаат индуктивни својства, тие ја забавуваат струјата во однос на напонот. Со додавање на кондензатори може да се компензираат овие ефекти дури φ не стане нула (),

и факторот на моќност максимален, а тоа е случај на

Во струјниот круг со потрошувач, ватметарот (W), амперметарот (A) и волтметарот (V) ги мерат соодветно ефективната моќност на потрошувачот (P), јачината на струјата што минува низ потрошувачот (I) и напонот на краевите од потрошувачот (U), од каде:



$$\cos \varphi = \frac{P}{U \cdot I}$$

Слика 36: Активната моќност се мери со ватметри кои се приклучуваат на соодветен начин (слика а) а јачината на струјата и напонот со амперметри и волтметри (слика б). Со отчитаните податоци може да се пресмета привидната моќност и да се определи факторот на моќност.

Со овие мерења и примена на формулата може да се определи фазното изместување φ меѓу напонот и јачината на струјата.

Да запомниме:

- електричната моќност на наизменичната струја е определена со моменталните вредности на јачината на струјата и напонот;
- за синусоидна струја таа е периодична функција и е определена преку нејзината средна вредност наречена активна моќност;
- енергијата на наизменичната електрична струја е определена со напонот, јачината на струјата и факторот на моќ-

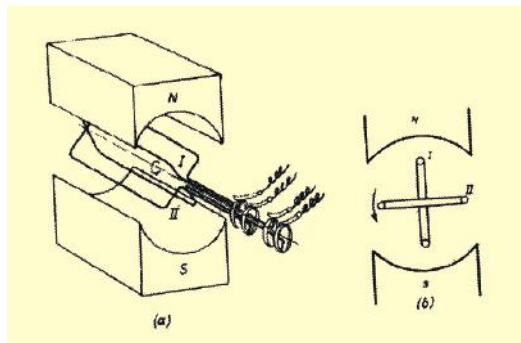
ност и времето под услов времето да е доста поголемо од периодот на струјата;

- факторот на моќност е определен преку активната моќност и привидната моќност.

Трифазни наизменични струи

Видовме дека наизменична струја може да се добие со вртење на рамка (една навивка) во магнетно поле. Ако земеме две рамки, така тие да се вртат околу иста оска, но меѓу себе да зафаќаат агол од 90° , струите што се индуцираат во нив ги изведуваме преку четири прстени со лизгачки контакти. Индуцираните струи во рамките ќе бидат со иста фреквенција, но со фаз-

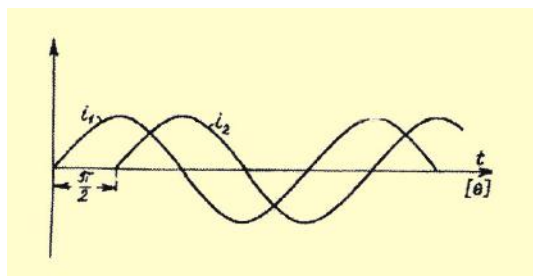
на разлика $\pi/2$. (Слика 37 и Слика 38)



Слика 37: Двофазен генератор

а. Вкрстените правоаголни рамки ротираат во хомогено магнетно поле.

б. Аголот меѓу нив е $\pi/2$

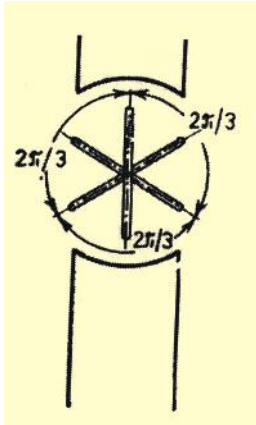


Слика 38: Индуцираните струи се со фазна разлика $\pi/2$

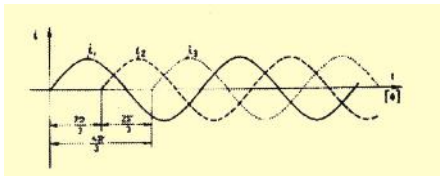
На сличен начин можат да се постават три навивки под агол од 120° така да од системот се добие *трифазна наизменична струја*. (Слика 39) Во процесот на индукција во системот се

добиваат струи меѓу кои постои фазна разлика

$\frac{2\pi}{3}$ или временска разлика $\frac{T}{3}$ (Слика 40).



Слика 39: Трите рамки ротираат истовремено поставени под агол $2\pi/3$



Слика 40: Трите синусоиди се со ист период, но една во однос на друга се со фазна разлика $2\pi/3$

Со зголемување на бројот на калемите се зголемува и бројот на фазите, така да можат да се добијат четирифазни, петофазни и слично или со општо име *полифазни струи*.

Денес во практиката се употребуваат речиси исклучиво *трифазни струи*.

За било кој момент кај *трифазните струи* важат равенките кои ги определуваат јачините на струите:

$$\begin{aligned} i_1 &= I_0 \sin \omega t \\ i_2 &= I_0 \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ i_3 &= I_0 \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \end{aligned}$$

Сумата на јачините на струите можеме да ја определеме на два начина: аналитички, со помош на тригонометриски формули или во

Френелова рамнина со Френелови вектори

$\vec{I}_1, \vec{I}_2, \vec{I}_3$.

Математички додаток:

За тригонометриската обработка се користат идентитетот

$$\sin(\alpha - \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta - \cos \alpha \cdot \sin \beta$$

и тригонометриската таблица

агол	sin	cos
0°	0	1
30°	1/2	√3/2
60°	√3/2	1/2
90°	1	0
120°	√3/2	-1/2
150°	1/2	-√3/2
180°	0	-1
210°	-1/2	-√3/2
240°	-√3/2	-1/2
270°	-1	0
300°	-1/2	√3/2
330°	1/2	√3/2
360°	0	1

Слика 41: На сликата е дадена табела со sin и cos вредности за потребните карактеристични агли

Од правилото за јачини на струја имаме:

$$i = i_1 + i_2 + i_3,$$


односно:

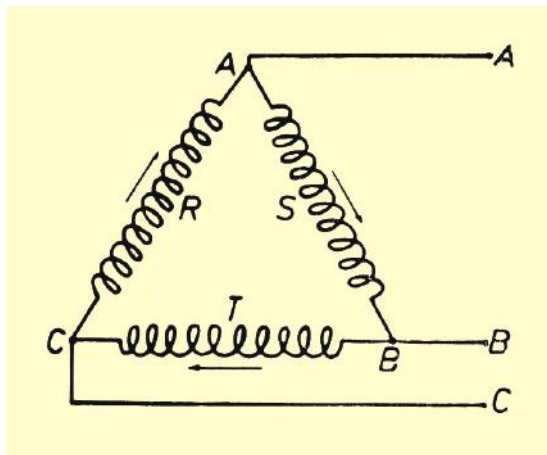
$$\begin{aligned} i &= I_m \sin \omega t + I_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) + \\ &\quad \cdot I_m \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) = \\ &= I_m \left[\sin \omega t + \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) + \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \right] \\ &= I_m \left[\sin \omega t + \sin \omega t \cdot \cos \frac{2\pi}{3} - \cos \omega t \cdot \sin \frac{2\pi}{3} + \right. \\ &\quad \left. + \sin \omega t \cdot \cos \frac{4\pi}{3} - \cos \omega t \cdot \sin \frac{4\pi}{3} \right] = \\ &= I_m \left[\sin \omega t + \sin \omega t \cdot \left(-\frac{1}{2} \right) - \cos \omega t \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right) + \right. \\ &\quad \left. + \sin \omega t \cdot \left(-\frac{1}{2} \right) - \cos \omega t \cdot \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \right] = 0 \end{aligned}$$

Значи: Сумата на јачините на струите во три-фазен систем е еднаква на нула во било кој момент на времето.

Вежба: Истиот резултат може да се добие и со принципот на Френел. Обиди се да го добиеш воведувајќи вектори \vec{I}_1, \vec{I}_2 и \vec{I}_3 и со анализа на графикот на трифазните струи.

Оваа својство на трифазните струи дава поволни можности за нејзино економично пренесување до потрошувачот. Имено, од овие причини струјата наместо со шест, до потрошувачите се пренесува со четири проводника. Сврзувањето се врши на два начина:

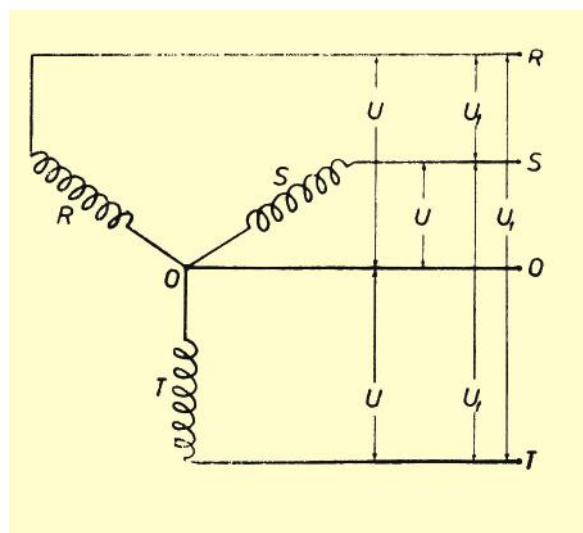
- Ако еден калем од генераторот го означиме со симболот , тогаш сврзувањето во облик на надоврзување на трите калема се нарекува *триаголник врска*. (Слика 42). Од триаголник врска излегуваат три проводника кои водат до потрошувачите и тие се т.н. *фазни проводници* или *фази*. Напонот помеѓу било кои две фази изнесува $380V$ (волти).



Слика 42: Триаголник врска

- Ако калемите означени со симболот ги сврземе така да имаат еден заеднички крај, а другите три да се слободни, тогаш сврзувањето е познато како *свезда врска*. (Слика 43). Заедничкиот проводник што потекнува од тројната точка се нарекува *нулти проводник*. Напонот помеѓу нултиот проводник и било кој од другите три, познати како *фази* (*фазни проводници*),

изнесува 220 волти, а помеѓу било кои од фазите 380 волти.



Слика 43: Свезда врска

Работните имиња на фазите се R, S и T .

Елекџромоџори

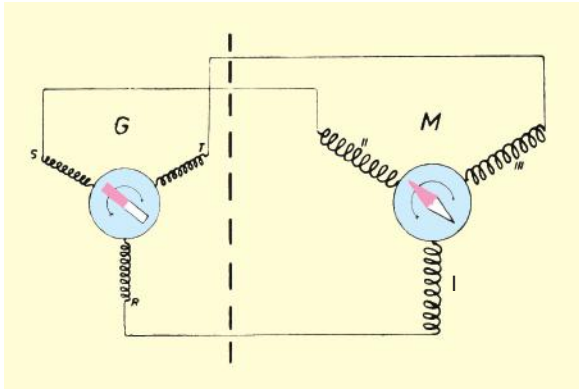
Полифазните струи можат да предизвикаат магнетно поле кое со својата насока се врти со истата фреквенција како што е фреквенцијата на фазите на наизменичната струја.

Таквото магнетно поле се нарекува *врџливо маџетно поле*. Тоа се наоѓа во принципот на работење на едноставни и економични електромотори што е од големо значење на електротехниката.

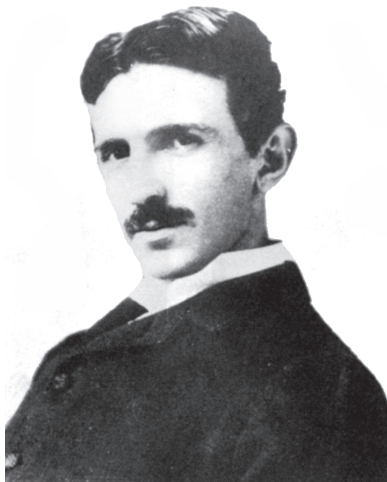
Вежба: Имајќи во предвид дека структурата на електромоторот се состои од статор кој се состои од три калеми меѓусебно поставени под агол од 120° и чии оски се сечат во една точка O и низ кои се пропушта струја од трите фази на трифазната струја (Слика 44), определи ја јачината на магнетното поле во точката O за време од

$$\text{еден период за секоја } \frac{T}{6} !$$

Најзначајните работи во областа на вртливо магнетно поле на полифазните струи даде Никола Тесла (Слика 44) како за пронаоѓање на вртливото магнетно поле, така и за негова примена.



Слика 44: Калемите I, II и III во моторот се поставени опд агол од 120° како и калемите на фазите R, S и T во генераторите

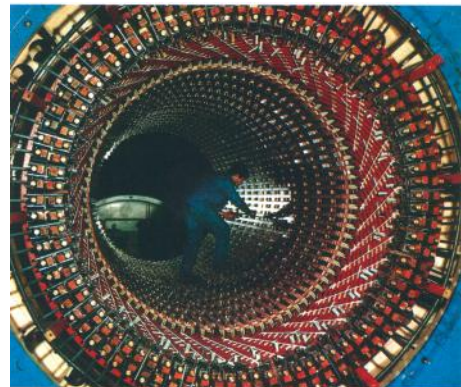


Слика 45: Никола Тесла (1857 - 1943)

Ако во вртливото магнетно поле ставиме магнет или електромагнет, магнетот ќе тежнее да се постави во правец на магнетното поле што се врти. Ако магнетот се наоѓа на оска, така да може да се врти заедно со полето, тогаш тој ќе го следи полето, и ќе се врти со истата фреквенција како на полето ако еднаш се стави во ротација со таа фреквенција. На тој начин се добива еден вид на мотор за наизменична струја кој се нарекува *синхрони мотори*.

За индустријата овој вид на мотори не се погодни, затоа што не можат сами да отпочнат да се вртат, а во исто време запираат ако од било кои причини се промени бројот на вртење. За тоа да се надмине направена е конструкција на мотор кој во принцип е ист како синхронот. Статорот се состои од калемите, а роторот е во

вид на барабан и е направен од ламелирано железо. Во ваков барабан ставени се проводници во вид на кафез. При мирување на роторот во релативно движење е вртливото магнетно поле во однос на роторот со што се предизвикува електромагнетни индукции. Индуцираната струја создава сопствено магнетно поле кое според Ленцовото правило, тежнеејќи да ја поништи причината за своето создавање ќе отпочне да се врти. (Слика 46)



Слика 46: Статор на индуциски мотор

Кога роторот ќе ја достигне фреквенцијата на вртливото магнетно поле причината за индукцијата ќе нестане. Оваа состојба лесно се остварува кога моторот не е оптоварен. Кога моторот се оптовари, роторот започнува да заостанува во бројот на вртење, заради што се создава спрег кој го “гони” моторот да го стигне полето. Со ова роторот остварува секогаш помал број на вртење во однос на вртливото поле, и разликата во бројот на свртувањата се нарекува “лизгање” на роторот и изнесува 3-5% од бројот на вртење на полето. Пример: Ако магнетното поле прави 3000 свртувања во минута, роторот со “лизгање” од 3% прави 2910 вртења во минута. Овој вид на мотори се познати како *асинхронни мотори*. Денес тие се во широка употреба.

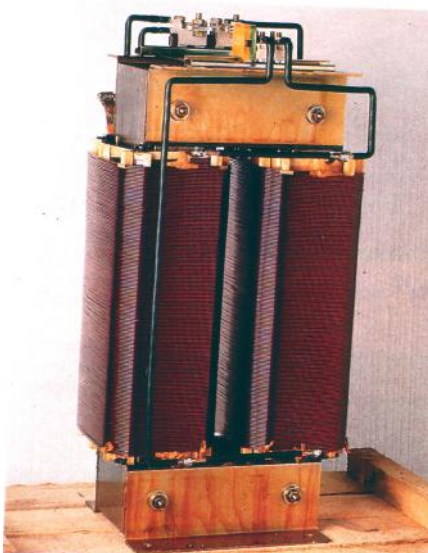
Да запомниме:

- трифазните струи се добиваат во генератори за трифазни струи;
- се состојат од три фази чии јачини на струи се фазно изместени за $\frac{2\pi}{3}$;
- збирот на јачините на струите во трите фази за било кој временски момент е еднаков на нула;

- до потрошувачите се пренесуваат со четири проводника сврзани во ѕвезда или триаголник-врска;
- стандардните напони што се користат се фазен напон од 220 волти и меѓуфазен напон од 380 волти;
- најчесто се користат кај електромоторите кои работат на принцип на електромагнетна индукција;
- електромоторите можат да бидат синхрони и асинхрони.

Трансформатори

Својството на наизменичните струи при течење низ проводници или калемии околу себе да создаваат променливо магнетно поле, а со тоа и променлив магнетен флуks, појавата на индукција ја прават актуелна за претворање на наизменичната струја со определена фреквенција f во наизменична струја со истата фреквенција, но со помал или поголем напон. Уредите кои служат за таа намена се нарекуваат *трансформатори*. Секој трансформатор се состои од два калема со различен број навивки, поставени на затворено железно јадро (Слика 47)



Слика 47: Индустриски трансформатор со лиснато железно јадро

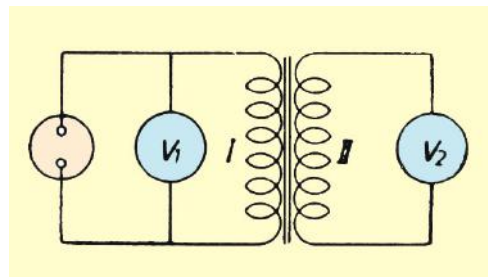
Вежба: Зошто затворено железно јадро?

Железното јадро е “ламелирано”. Се состои од плочки од тенок железен лим кои меѓусебно се добро изолирани.

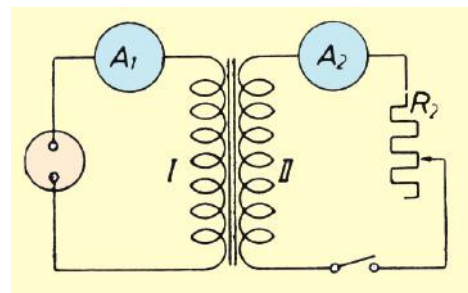
Вежба: Зошто служат парчињата лим?

Железото е материјал кој создава силен магнетен флуks и е со мала магнетна отпорност.

Во шематските прикази на трансформаторите ознаката I го означува *примарниот калем*, а II *секундарниот калем* на трансформаторот. Една или повеќе црточки го означуваат *железното јадро* на трансформаторот (Слика 48 и Слика 49).

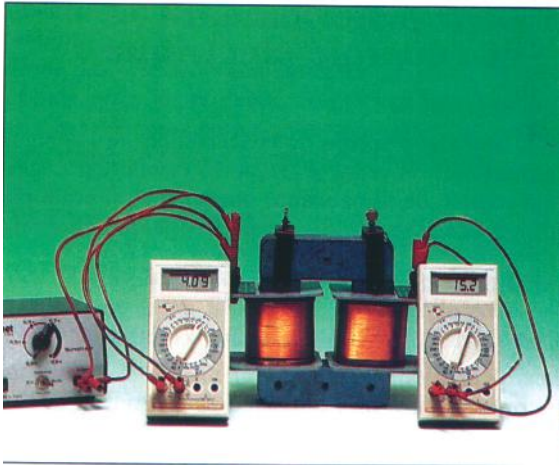


Слика 48: Мерење на трансформиран напон



Слика 49: Мерење на трансформирана јачина на електрична струја

Обид: Трансформатор кој можеме да го размонтираме го составуваме од примарен калем кој се состои од 500 навивки кој го спојуваме на напон на градска мрежа од 220 волти, и секундарен калем кој прво е калем од 250 навивки, а потоа калем од 1000 навивки. Во двата случаи со волтметри ги мериме напоните на краевите од примарот и секундарот. (Слика 50). Во првиот случај се добива напон на краевите од секундарот кој е двапати помал од влезниот на примарниот, а во вториот случај напон кој е двапати поголем од влезниот кај примарот.



Слика 50: Примарниот калем е сврзан за градска мрежа

Заклучок: Трансформацијата на напонот е право пропорционална со односот на бројот на навивките.

Обид: Постапуваме на ист начин во формирање на трансформаторот: примарниот калем има 500 навивки, а секундарот прво има 250, а потоа 1.000 навивки. Во кругот на секундарот приклучуваме потрошувач (или реостат) и кругот го затвораме и отвораме со помош на прекинувач. И во примарниот и во секундарниот круг вклучуваме амперметар. Кога прекинувачот во секундарниот струен круг е отворен, амперметарот A_1 во примарниот круг покажува многу слаба струја (струја на изразен ог). Кога со прекинувачот P ќе го затвориме секундарниот струен круг, амперметарот A_2 покажува струја чија јачина е

во согласност со Омовиот закон $\left(I_2 = \frac{U_2}{R_2} \right)$,

а амперметарот A_1 покажува половина од вредноста на струјата во секундарниот круг за првиот случај, односно двапати појака струја од онаа во секундарниот струен круг, во вториот случај.

Заклучок: Трансформацијата на јачината на струјата е обратно пропорционална со бројот на навивките.

Од горните експерименти гледаме дека трансформаторите се уреди кои во исто време ги трансформираат напонот и јачината на струјата. Односот на бројот на навивките на прима-

рот N_1 и на секундарот N_2 го нарекуваме **коэффициент на трансформација**,

$$k = \frac{N_1}{N_2},$$

Математички додаток:

За горните експериментални резултати важат следниве математички докази:

1. Од Максвел-Фарадеевиот закон за индукција имаме:

- во примарот: $u_1 = -N_1 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$,
- во секундарот: $u_2 = -N_2 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$.

Со делење на овие две равенки се добива изразот: $u_1 : u_2 = N_1 : N_2$ или *односот на напонот во примарот и секундарот е еднаков на коефициентот на трансформација*.

2. Од законот за запазување на енергија важи

$u_1 \cdot i_1 = u_2 \cdot i_2$ (моќноста ангажирана во примарот е еднаква со моќноста во секундарот)

или

$$i_1 : i_2 = u_2 : u_1$$

Бидејќи $\frac{u_1}{u_2} = k$, следи $i_1 : i_2 = \frac{1}{k}$ или односот

на јачините на струите во примарот и секундарот е еднаков на реципрочната вредност на коэффициентот на трансформација.

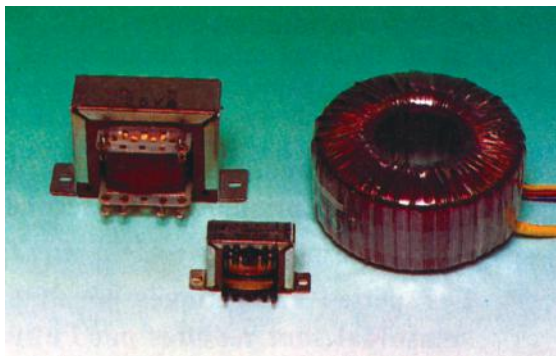
Заклучок: Јачините на струите во примарот и секундарот се обратно пропорционални со соодветните напоните, односно бројот на навивките во соодветните калемци.

Внимавај: Бидејќи напречниот пресек на проводникот од кој е направен калемот мора да биде прилагоден на јачината на струјата, следи дека калем со голем број на навивки ќе биде направен од тенка жица, а калем со мал број на навивки од дебела жица.

Трансформаторите според приципот на работа се доста практични и економични; **коэффициентот на полезно дејство η** (односот помеѓу искористената W_i и вложената енергија W_v) е доста

висок: над 98%, а работата не му зависи од надворешни услови.

Трансформаторите нашле своја примена во сите сфери на електротехниката.(Слика 51)

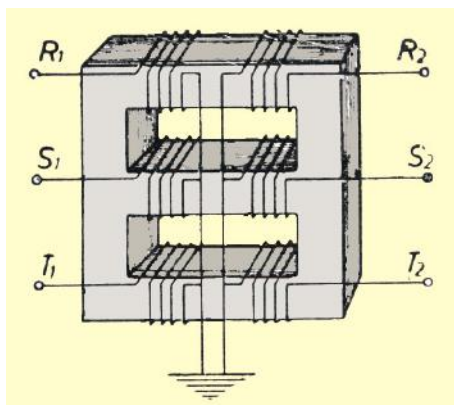


Слика 51: Неколку трансформатори користени во секојдневните уреди и апарати

Вежба: Зошто права и постојана струја не може да се трансформира?

Трифазните трансформатори претставуваат систем од три еднофазни трансформатори кои можат да создадат три независни струјни круга (Слика 52).

$$\eta = \frac{W_i}{W_v}$$



Слика 52: Шема на трифазен трансформатор

Вежба: Познато е дека пренесувањето на електричната енергија од генераторот до потрошувачите се врши со последователно трансформирање на напонот:

$$G : 15000V \Rightarrow 110000V \Rightarrow 35000V \Rightarrow 6000V \Rightarrow 220V : P$$

Опреди ги коефициентите на трансформација на соодветните трансформатори.

Да запомниме:

- трансформатори се уреди за менување на напонот и јачината на струјата без промена на фреквенцијата;
- изградени се од железно јадро и примарен и секундарен калем;
- основна карактеристична величина им е коефициентот на трансформација кој може да биде поголем или помал од единица;
- заради малите загуби, тие се уреди со висок коефициент на полезно дејство;
- наоѓаат широка примена како мали трансформатори во домаќинството и како огромни постројки во индустријата и транспортот на електрична енергија.

Наизменични струи

Да го провериме сѐкнајпошо знаење:

I. Одговори на следниве прашања:

1. Како се викаат уредите во кои се добиваат наизменични струи? Врз основа на која физичка појава функционираат тие?

2. Кои закони за права постојана струја важат и за наизменични струи кај кои промените не се многу брзи ?

3. Од што зависи капацитативниот отпор на даден струен круг?

4. Кој е условот за електричен резонанција во струен круг на наизменична струја?

5. На кој начин можеме да го подобриме факторот на моќноста кај наизменичните струи?

II. Точно или неточно

1. Моменталните вредности на наизменична струја ја даваат ефективната јачина на наизменична струја како нивна аритметичка средина.

2. Капацитетот го овозможува протокот на наизменичната струја и го избрзува напонот во однос на струјата,

3. Ако во даден струен круг се зголемува индуктивитетот амплитудната вредност на јачината на струјата ќе се намалува, а моменталните вредности на јачината на струјата ќе задоцнуваат во однос на напонот.

4. При остра резонанција во круг на наизменична струја јачината на струјата брзо расте ако се оддалечуваме од резонантната фреквенција.

5. Со помош на трансформатори не е можно да се трансформира напон на права постојана струја.

III. Заокружи го точниот одговор:

1. Максималната вредност индуцираната електромоторна сила во правоаголна рамка не зависи од:

а. магнетната индукција на полето; б. кружната фреквенција на вртење на рамката; в. природата на проводникот од кој е направена рамката,

2. Ефективната јачина на струјата во струен круг на наизменична струја е $2A$. Максималната вредност на струјата:

а. $2,8A$; б. $1,4A$; в. иста со ефективната вредност.

3. За да во струен круг на наизменична струја се зголеми јачината на струјата потребно е:

а. индуктивитетот да се зголеми; б. капацитетот да се зголеми; в. истовремено да се зголемуваат и индуктивитетот и капацитетот

4. Струјниот круг на наизменична струја е во резонас кога:

а. б. в.

5. Ако на еден трансформатор бројот на навивките во примарот двапати го намалиме, а во секундарот двапати го зголемиме, вредностите на трансформираниот напон:

а. двапати ќе се зголемат; б. четирипати ќе се зголемат; в. нема да се променат.

1. Моменталните вредности на наизменична струја се определени со равенката:

каде моменталната и максималната вредност на јачината на струјата се дадени во ампери (A), кружната фреквенција во херци (Hz), а времето во секунди (s). Колкава е нејзината ефективна вредност, а колку нејзината фреквенција? Колкав ефективен пад на напон ќе предизвика при поминување на потрошувач со отпор од $1,5k\Omega$?

Одговор: $50Hz$; $12kV$

2. Во струен круг на наизменична струја со променлива фреквенција се наоѓа калем со термоген отпор $R = 20\Omega$ и индуктивитет од $0,2H$, и кондензатор со капацитет од $0,5\mu F$. При која фреквенција отпорот во оваа коло е најмал?

Одговор: $503Hz$

3. Од причини на сигурност, модерните бањи се опремени со низок напон од 12 волти. Една бања има три лампи (светилки) секоја со моќност од 50 вати.

а. Која е номиналната моќност на трансформаторот што се користи?

б. Пресметај ги ефективните вредности на струите што течат низ примарот и секундарот на трансформаторот.

в. Треба ли тие да користат метални проводници со ист напречен пресек за поврзување на примарот од трансформаторот и лампите (светилките)?

Одговор: а. $150W$; б. $0,68A$; $12,5A$ в. Не

4. Измерено е дека напонот на примарот на трансформаторот е $440V$, а на секундарот $4V$. Колкав е односот на бројот на навивките на примарот и секундарот? Колкав е односот на јачините на струите што минуваат низ секундарот и примарот секундарот на овој трансформатор?

Одговор: $N_p/N_s=110$; $I_s/I_p=110$

5. (Задача за синтеза) *Мал град во Европa*

Една електрична линија снабдува мал град со електрична енергија. Таа го снабдува со моќност од 3 мегавати. Отпорот на линијата е 10 ома. Линијата започнува со трансформатор кој обезбедува ефикасен напон од 63 киловолти.

I а. Опиши го односот помеѓу ефективниот напон, ефективната јачина на струја и ефективна моќност (потрошената енергија) од страна на градот!

б. Пресметај ја јачината на струјата што протекува низ линијата (мрежата)!

в. Пресметај ја изгубената моќност на линијата (мрежата) и изрази ги загубите во проценти!

II Прочени го накусо напонот на почетокот на линијата (мрежата)!

III Претпоставувајќи дека електричната моќност е искористена за секојдневните потреби на жителите кои имаат иста просечна потрошувачка како и твоите сограѓани, определи (процени) го бројот на жителите.

$$i = 11,3 \cdot \sin 314t$$

Индекс на поими

A

Акцелератор (циклотрон)	93
Акустична резонанција	124
Ампер	36, 90
Амперметар	36
Амперова сила	88, 89
Амплитуда	116
Анода	64, 69
Анјон	69
Атом	9

B

Био-Саваров закон	83
-------------------	----

V

Виорни (вителни) струи	104
------------------------	-----

G

Густина	
- на електрична струја	
- йовришинска	
- волуменска	

Геометриско поле	
------------------	--

D

Диода	58, 64
- карактер на диода	
Диелектрик	21
Дијамагнетизам	87
Дипол	21, 68

E

Електрично поле	13
Еквипотенцијална површина	17
Електрична струја	34
- јачина ³⁵	
- густина	
Електрични силиви линии	14
Електричен капацитет	22
Електричен напон	18
Електричен отпор	38, 40
Електричен потенцијал	16
Електролити	67
Електролитна дисоцијација	67, 68
Електролиза	69
Електромагнет	
Електронски облак	63
Електростатска индукција	101
Електромагнетна индукција	
Електромоторна сила	34, 103
Електрон-волт	64
Електростатска сила	
Електрохемиски еквивалент	70
Елонгација	116, 117

I

Импеданс	149
----------	-----

Индуцирана електромоторна сила	100
Индуктивитет	107
Индуктивен отпор	145, 147

J

Јонизација	9
Јачина на електрично поле	13

K

Капацитативен отпор	145
Капацитет	22
Катодна цевка	64
Катјон	69
Кирхофови закони	43
Кондензатор	23
Кристална диода	59
Критична температура	42, 88
Кружна фреквенција	116
Кулон	9

L

Ленцово правило	101
Лоренцова сила	64, 91

M

Магнети	81
- магнетни йолови	82
Магнетна индукција	85
Магнетен пермеабилитет	86
Магнетен флуks	86
Математичко нишало	119

N

Напон	
- електричен	18
Нишало	
- физичко	121
- математичко	119

O

Омов закон	
- за еднонасочна струја	38
- за наизменична струја	
- за електричен отпор	40

Отпор

- омски	
- индуктивен	145, 147
- капацитативен	145

Осцилација	115
- хармониска	116
- иридушени	125
- неиридушени	125
- ирисилени	123

П

Пад на напон	38
Парамагнетизам	87

Парамагнетици	53, 87
Пермеабилитет	86
Период	115
Поле	81
- <i>електрично</i>	13
- <i>магнетно</i>	81
Поларизирани молекули	21
Полупроводници	
Потенцијал	
- <i>електричен</i>	16
Потенцијална енергија	16
Површинска густина	20
P	
Рамнотежна положба	115
Редуцирана должина	
- <i>на нишало</i>	122
Резонанција	123, 150
C	
Самоиндукција	105
Сила	
- <i>електростатиска</i>	
- <i>електромагнетна</i>	
- <i>Лоренцова</i>	64, 91
Струја	
- <i>еднонасочна</i>	
- <i>наизменична</i>	138
- <i>заситена</i>	72
- <i>виштелна (виорна)</i>	104
Суперпроводливост	42
T	
Температура	
- <i>криптична</i>	
Термоелектронска емисија	62
Термоелектрони	63
Трансформатор	
Транзистори	60
Триода	
Трифазни струи	154
Φ	
Флемингово правило	89
Флукс	
- <i>магнетен</i>	86
Фарадеев број	70
Фарадеев закон за електролиза	60
X	
Хемиски еквивалент	70
Хармониски осцилации	116
Хомогено поле	
- <i>електрично</i>	15
- <i>магнетно</i>	82