



Универзитет „Св. Кирил и Методиј“  
Технолошко-металуршки факултет

**ОСНОВИ НА  
ИНЖЕНЕРСКА ТЕХНИКА 2**

Д-р Ирена Мицкова

**Издавач:**

Универзитет „Св. Кирил и Методиј“

**Автор:**

Доц. Д-р Ирена Мицкова  
Технолошко-металуршки факултет

**Рецензенти:**

Проф. Д-р Драгица Чамовска  
Технолошко-металуршки факултет

Проф. Д-р Христина Спасевска  
Факултет за електротехника и информациски технологии

**Лектор:**

Д-р Олгица Додевска  
Институт за македонски јазик „Крсте Мисирков“

Скопје 2011

## ПРЕДГОВОР

Учебникот „Основи на инженерска техника 2“ е резултат на повеќегодишното искуство при изведувањето на наставата, аудиториските и лабораториските вежби, семинарските работи и теренската настава на авторот со студентите од I година, по предметот што се слуша на сите насоки на Технолошко-металуршкиот факултет при Универзитетот „Св. Кирил и Методиј“. Неговата основна цел е да им помогне на студентите при совладувањето на градивото од оваа материја, која, според својата содржина, е усогласена со наставните планови и програми усвоени на Технолошко-металуршкиот факултет, што се компатибилни со програмите на познатите светски универзитети и со Болонската декларација. Учебникот, пред сè, е наменет за студентите од Технолошко-металуршкиот факултет при Универзитетот „Св. Кирил и Методиј“, меѓутоа тој е приспособен така што успешно може да го користат и сите други студенти од техничките науки на повеќе факултети низ Република Македонија каде што се изучува оваа дисциплина.

Основната идеја на авторот беше на студентите, на лесно разбирлив начин, да им се предочат фундаменталните начела од инженерството што ќе ги користат во своите понатамошни студии. Учебникот може да го користат и дипломирани инженери кои во својата секојдневна практика се сретнуваат со различни инженерски проблематики. Со печатењето на овој учебник во голема мера ќе се ублажи недостигот од литература од оваа област на македонски јазик. При пишувањето на учебникот авторот користеше најнова светска литература, така што, во учебникот се дадени најновите достигнувања од едукативен карактер на ова поле.

Специфичноста на овој ракопис е во тоа што текстуалниот дел е поткрепен со голем број илустрации, така што, истовремено, преку визуелното дополнување на теоретските поглавја, овозможува полесно и побрзо совладување на учебното градиво.

Од авторот

# СОДРЖИНА

<b>1. Структура и модели на атомот</b>	..... 5
<b>2. Електрицитет и феномени кои се базираат на електрицитет</b>	..... 11
2.1. Електростатички врски помеѓу атомите	..... 11
2.2. Статички електрицитет и методи на електризирање на телата	..... 14
2.2.1. Статички електрицитет	..... 14
2.2.2. Методи на електризирање на телата	..... 14
2.3. Електростатички мерни инструменти	..... 17
2.4. Електростатички машини	..... 19
2.5. Кулонов закон	..... 21
2.5.1. Електрично поле	..... 25
2.5.2. Електрични силиви линии	..... 26
2.5.3. Електростатичка индукција	..... 28
2.5.4. Флукс на вектор на јачина на електрично поле	..... 29
2.5.5. Еквипотенцијални линии и еквипотенцијални површини	..... 30
2.5.6. Електричен потенцијал и работа	..... 33
2.6. Електрични кондензатори	..... 34
2.6.1. Енергија на електрично поле во кондензатор	..... 39
2.6.2. Поларизација на диелектрик во електрично поле	..... 40
2.6.3. Кондензатор во електрично коло	..... 43
2.6.4. Поврзување на кондензатори	..... 44
<b>3. Електрична струја</b>	..... 49
3.1. Електрична струја во метални спроводници	..... 54
3.1.1. Стационарна електрична струја	..... 56
3.2. Електрична отпорност	..... 58
3.2.1. Зависност на отпорноста од температурата	..... 60
3.2.2. Омов закон	..... 64
3.2.3. Моќност на електрична струја	..... 65
3.2.4. Празен од и кратко поврзување (краток спој) на изворот	..... 66
3.3. Видови отпорници	..... 67
3.3.1. Поврзување на отпорници	..... 69
<b>4. Електроенергетски системи</b>	..... 73
4.1. Електрични постројки	..... 73
4.2. Електрични инсталации	..... 75
4.2.1. Изолирани спроводници и кабли	..... 75
4.2.2. Електрични осигурувачи	..... 77
4.2.3. Прекинувачи	..... 79
4.2.4. Приклучни направи	..... 80
4.2.5. Разводни табли	..... 81

<b>5. Производство на електрична енергија</b>	.... 82
5.1. Термоелектрични центри (термоцентри)	.... 82
5.2. Хидроелектрични центри (хидроцентри)	... 83
5.3. Нуклеарна енергија и нејзино искористување	.... 88
5.3.1. Нуклеарни центри	.... 89
5.4. Геотермална енергија и нејзино искористување	.... 91
5.4.1. Геотермални електрични центри	.... 93
5.5. Сончева енергија и нејзино искористување	.... 95
5.5.1. Сончеви системи со природна циркулација на флуид	.... 97
5.5.2. Сончеви системи со принудна циркулација на флуид	.... 99
5.5.3. Сончеви електрични центри	
5.5.4. Фотонапонска конверзија на сончевото зрачење	.... 100
5.6. Енергија од ветер и нејзино искористување	.... 104
5.6.1. Ветерни електрични центри (ветерници)	.... 105
5.7. Енергија од биомаса и нејзино искористување	.... 107
<b>6. Извори на електрична енергија</b>	.... 108
6.1. Хемиски извори на електрична енергија	
6.1.1. Галванска ќелија	.... 108
6.1.1.1. Необновливи (примарни) батерии	.... 111
6.1.1.2. Обновливи (секундарни) батерии	.... 113
6.1.2. Горивна ќелија	.... 120
6.2. Електричен генератор и електромоторна сила	.... 123
6.2.1. Поврзување на електрични извори	.... 127
6.2.2. Струја и напон во електрични кола	.... 130
6.2.3. Кирхофови закони	.... 132
6.2.4. Витстонов мост	.... 135
<b>7. Електрично осветление</b>	.... 137
7.1. Светлотехника	.... 138
7.1.1. Ефекти на осветлението врз одделните аспекти на човековите активности	.... 139
7.1.2. Основни светлотехнички големини и поими	.... 139
7.1.3. Распределба на светлинската јачина	.... 142
7.1.4. Светлотехнички својства на телата	.... 144
7.2. Електрични светилки	.... 150
7.2.1. Светилки со метално влакно	.... 150
7.2.2. Халогени светилки	.... 152
7.2.3. Флуоресцентни светилки	.... 153
7.2.4. Живини светилки со висок притисок	.... 154
7.2.5. Металхалогени светилки	.... 155
7.2.6. Натриумови светилки со висок притисок	.... 155
7.2.7. Натриумови светилки со низок притисок	.... 156
7.3. Светла	.... 157
7.3.1. Системи за внатрешно осветление	.... 161

<b>8. Електромагнетизам</b>	.... 163
8.1. Магнетно поле	.... 163
8.1.1. Магнетно дејство на електричната струја	.... 164
8.1.2. Вектор на магнетна индукција	.... 167
8.2. Материја во магнетно поле	.... 169
8.3. Својства на феромагнетни материјали	.... 172
8.4. Магнетен флукс	.... 175
8.4.1. Премин на магнетен флукс од еден во друг медиум	.... 176
8.5. Електромагнетна сила	.... 177
8.6. Електромагнетна индукција	.... 178
8.6.1. Напон на поместување	.... 180
8.6.2. Самоиндукција и меѓусебна индукција	.... 181
<b>9. Наизменична струја и наизменичен (променлив) напон</b>	.... 183
9.1. Елементи на електрично коло на наизменична струја	.... 190
9.1.1. Електрично коло со омска отпорност (R)	.... 191
9.1.2. Електрично коло со омска (R) и индуктивна отпорност ( $X_L$ )	.... 192
9.1.3. Електрично коло со омска (R) и капацитативна отпорност ( $X_C$ )	.... 193
9.1.4. Моќност на наизменична струја	.... 194
9.2. Трифазни наизменични струи	.... 195
9.2.1. Вртливо магнетно поле	.... 196
<b>10. Електрични мерења</b>	.... 198
<b>11. Електрични машини</b>	.... 205
11.1. Трансформатори	.... 206
11.1.1. Трифазни трансформатори	.... 209
11.2. Вртливи електрични машини	.... 210
11.2.1. Синхрони машини	.... 210
11.2.2. Асинхрони машини	.... 214
<b>12. Електрохемиски појави</b>	.... 219
12.1. Галванизација (електроплатинирање)	.... 223
12.2. Галванопластика	... 224
12.3. Електрохемиски процеси	.... 224
12.3.1. Начини на поврзување на електродите при електролиза	.... 225
<b>13. Електротермија</b>	.... 227
13.1. Процеси на претворување на електричната енергија во топлина	.... 227
13.1.1. Класификација на електротермичките постапки	.... 227

## 1. СТРУКТУРА И МОДЕЛИ НА АТОМОТ

Познавањето на структурата и моделите на атомот служи како основа за разбирање на физичките појави кои се од интерес во основите на електричното инженерство.

Електричното инженерство ги проучува и применува појавите кои се јавуваат главно како последица на електрицитетот.

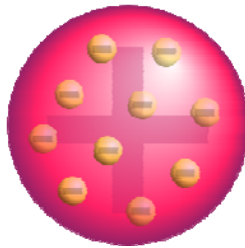
*Аџомои* (на грчки *άτομο* - неделив) претставува најмалата структурна честичка на секој хемиски елемент (со тоа и на материјата) што ги има неговите карактеристични својства. Секој атом се состои од атомско јадро и електронска обвивка каде се наоѓаат неколку типови елементарни честички: во јадрото се наоѓаат неутралните неутрони и позитивно наелектризираните протони, додека во електронската обвивка се наоѓаат негативно наелектризираните електрони.

Откривањето на структурата на материјата и атомите било еден од најголемите предизвици уште од дамнешни времиња. Почетните размислувања за структурата на материјата датираат уште од времето на Античка Грција, кога старогрчките филозофи верувале дека материјата се состои од ситни неделиви честички наречени атоми. Кога се зборува за современите сознанија за структурата на материјата, почетоките се поврзани со појавата на атомско молекуларната теорија на англичанецот Џон Далтон во првата половина на XIX век. Оваа теорија нуди први современи гледишта за материјата и атомите. Според атомско молекуларната теорија, атомите на еден ист хемиски елемент се идентични, додека атомите на различни елементи имаат различни својства и различни маси.

Откривањето на структурата на атомите била една од најголемите мистерии со која се соочувале многу генерации на филозофи и научници. Прашањето од што се составени атомите и каква е нивната структура било една од главните преокупации на голем број познати хемичари и физичари. Најголемите сознанија околу структурата на атомите се добиени кон крајот на XIX и почетокот на XX век.

Првиот модел за структурата на атомот бил предложен во 1898 год. од научникот Вилијем Томсон, според кој, атомот е топче со радиус приближно еднаков на 0,1 nm во кое е распределено позитивно електричество, а на определени места во него се наоѓаат негативните електрони, кои придонесуваат атомот надворешно да манифестира неутралност.

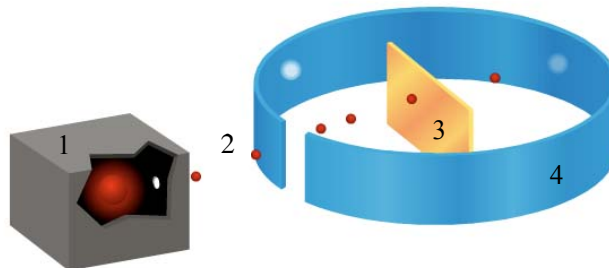
Следниот модел бил предложен од Џозеф Џон Томсон во 1904 год., тој го развил класичниот модел на атомот, базирајќи се на претпоставката дека зрачењето од атомот треба да се покорува на Максвеловите равенки на класичната електромагнетна теорија и динамиката на атомот треба да е во согласност со Њутновите закони од класичната механика. Според тоа, електроните во неговиот модел не се во статичка, туку во осцилирачка (динамичка) состојба.



Сл.1.1. Томсонов модел

Двата предложени модели не ја опишуваат реално структурата на атомот, меѓутоа, дале значаен придонес во понатамошните проучувања за осознавање на градбата на атомот.

Значаен придонес во откривањето на структурата на атомот има физичарот Ернест Радерфорд (Ernest Rutherford), кој во 1909 год. извел експеримент со алфа-зраци. Експериментот се состоел во тоа што на патот кон изворот од алфа-зраците физичарот Радерфорд поставил фолија од злато, и со помош на микроскоп поставен зад површината на фолијата набљудувал што се случувало со првобитните алфа-зраци кои паѓале на површината од златото, односно дали тие биле одбиени под некој агол или пак го задржале својот првобитен правец.

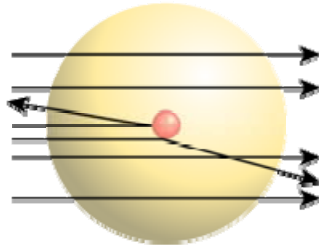


Сл.1.2. Радерфордов експеримент: 1– извор на алфа-зраци; 2 – алфа-зраци; 3– златна фолија; 4 – флуоресцентен екран

Алфа-зраците се јадра од хелиум составени од два протони и два неутрони, значи тие се двојно позитивно наелектризираны честички.

Најголем дел од алфа-зраците не го смениле својот правец, што иницирало дека позитивно наелектризираните честички непречено поминувале низ атомите од злато на металната фолија, а само незначително мал дел од зраците биле одбиени и го смениле правецот. Значи, делот од атомот од каде што се одбиваат позитивните алфа-честички мора да е позитивно наелектризиран, со многу голема маса и тој дел е многу мал во споредба со димензиите на атомот.

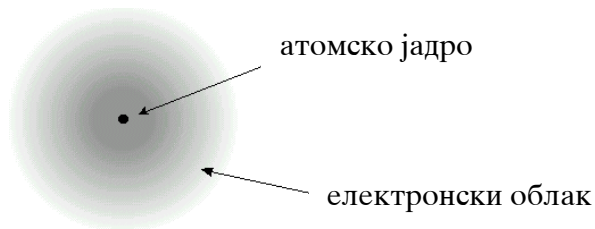




Сл.1.3. Алфа-зраци кои паѓаат на атом од злато

Со овој експеримент било утврдено дека целиот позитивен полнеж кај атомот и скоро целокупната негова маса е сместена во многу мал простор наречен јадро, а негативниот полнеж, односно електроните се сместени во т.н. електронски облак околу јадрото. Значи, во тоа време биле откриени елементарните честички што влегуваат во состав на атомите, па експериментот на Радерфорд придонел за подобро спознавање на структурата на атомите. Така, било генерално прифатено дека атомите се составени од протони, неутрони и електрони. Денес е познато дека во јадрото на атомите, освен протони и неутрони, постојат и голем број други честички, кои придонесуваат за стабилноста на атомското јадро.

Во согласност со Радерфордовиот модел атомското јадро е со радиус од редот на големината  $10^{-15}$ - $10^{-14}$  m, а радиусот на атомот е од редот на  $10^{-10}$  m. Според тоа, позитивното количество што го содржи атомот е концентрирано во неговиот мал централен дел наречен јадро или *nucleus*.



Сл.1.4 Радерфордов модел

Врз база на експериментите на Радерфорд (Rutherford), данскиот научник Нилс Бор (Niels Bohr) во 1913 год. ја претставил првата современа теорија за структурата на атомите. Тој ја предложил теоријата според која атомот е составен од атомско јадро во кое се сместени протони и неутрони и електронски патеки, односно орбити по кои се движат електроните околу јадрото. Според овој модел, најголемото количество маса е концентрирано во централниот дел, околу кој кружат електроните, слично како планетите околу Сонцето.

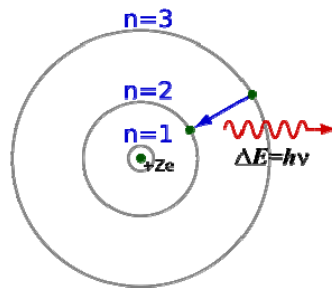
Боровиот модел на атомот е претставен преку трите Борови постулати:

1. Секој атом може да постои само во определени (дискретни) атомски состојби кои одговараат на определени енергетски состојби. Во овие состојби

атомот ниту емитира, ниту апсорбира енергија. Овој постулат е наречен постулат на стационарните состојби.

2. Атомот емитира (или апсорбира) енергија само при преминот од една стационарна состојба во друга. Преминот од повисоко кон пониско енергетско ниво е придружено со емисија на енергетски квант ( $h\nu = E_n - E_m$ ), а обратно со апсорпција. Овој постулат е наречен правило на фреквенциите:  $\nu = (E_n - E_m) / h$ .

3. На стационарните состојби соодветствува движење на електронот по кружни орбити со определен радиус  $r$ .



Сл.1.5. Боров модел

Иако во тоа време овој модел на атомот бил визуелно добар, сепак тој бил во спротивност со основните физички закони. Според законите на физиката, познато е дека секоја честичка што се движи, значи и електронот, постепено губи од својата енергија. Губејќи ги својата брзина и енергија, електронот би требало сè повеќе да се приближува до јадрото на атомот и во даден момент тој би се споил со јадрото, во кое се сместени протоните со позитивен полнеж и како резултат на тоа веднаш би настанала реакција помеѓу позитивните и негативните полнежи што би довело до нарушување на стабилноста на атомот. Имајќи ги во предвид овие сознанија и физички нелогичности на Боровиот планетарен модел за атомот, научниците увиделе дека било неопходно модифицирање на планетарниот модел за структурата на атомот. Тоа се случило неколку години подоцна, кога е предложена квантно - механичката теорија за структурата на атомите.

Голем дел од сознанијата за електронската структура на атомот се резултат на проучувањата на интеракциите помеѓу атомот и светлината. Светлината е електромагнетно зрачење. Во природата постојат различни видови електромагнетни зрачења како што се видливата светлина, радио-брановите и другите видови зрачења кои се разликуваат меѓу себе според енергијата што ја поседуваат. Целокупното множество на сите електромагнетни зрачења во природата се вика спектар на електромагнетно зрачење. Спектарот на електромагнетни зрачења ги содржи сите зрачења со различни бранови должини, што значи дека електромагнетниот спектар на светлината е континуиран спектар. Доколку електроните би се движеле постојано по орбити, тие постепено би губеле од својата енергија, и тогаш би се добиле континуирани, а не линиски спектри. Ова бил првиот факт дека електронот не се движи околу јадрото на атомот како планетите околу Сонцето.

Друг феномен што придонел за подобро разбирање на својствата на електроните и на електронската структура на атомите го објаснил Ајнштајн, а тој феномен е наречен фотоелектричен ефект. Фотоелектричниот ефект е, всушност процес на емисија на електрони од металите, кога врз нив паѓа светлина со точно определена бранова должина. Со фотоелектричниот ефект покажано е дека електроните во структурата на атомите мора да имаат точно определена, а не каква било енергија.

Значи, појавата на линиски емисиони спектри кај елементите и откривањето на феноменот фотоелектричен ефект биле меѓу најзначајните настани во откривањето на електронската структура на атомите. Тие биле предуслов за појавувањето на новата теорија за структурата на атомите, наречена квантно-механичка теорија. Најголем придонес во развојот на квантно-механичката теорија а со тоа и во електронската структура на атомите дал австрискиот физичар Ервин Шредингер (Erwin Schrödinger). Оваа теорија ја опишува структурата на атомите и однесувањето на атомите и молекулите. Според оваа теорија, ако електронот може да стапува во интеракција со светлината, тогаш тој мора да има одредена бранова природа, што значи дека електронот има двојна природа, односно се однесува и како честичка и како бран. Според постулатите на квантната механика, електромагнетното зрачење се пренесува само во точно определени количества наречени кванти. Значи по аналогија на светлината, и енергијата кај електроните треба да се пренесува во кванти.

Ервин Шредингер (Erwin Schrödinger) во 1926 год. го предложил квантно-механичкиот модел на атомот. Овој модел во себе ја вклучува идејата за квантување при опишување на состојбата на атомот. Искористени се сознанијата за брановидноста при движењето на електроните, поради што овде се користи брановата функција.

Современи сознанија за структурата на атомот се:

- Атомот се состои од атомско јадро и од обвивка во која се сместени електроните.
- Атомското јадро се состои од протони и неутрони.
- Основните честички од кои е изградена материјата се протоните, неутроните и електроните.
- Приближни димензии на атомот:  $10^{-8}$  cm
- Јадрото е 10000 до 100000 пати помало од димензиите на атомот ( $10^{-12}$  до  $10^{-13}$  cm).
- Протонот е стабилна честичка, со маса 1836,12 пати поголема од електронот, има позитивен полнеж по апсолутна вредност идентичен со оној на електронот (протонот е водороден катјон).
- Неутронот е стабилен само во атомското јадро. Слободниот неутрон се распаѓа за околу 12 min. на протон, електрон и антинеутрино. Има малку поголема маса од протонот. Влегува во состав на сите атомски јадра (освен во јадрото на водородот).
- Во атомското јадро постојат уште 200 елементарни честички со краток век на постоење кои ја овозможуваат врската помеѓу неутроните и протоните, а со тоа и стабилноста на атомското јадро.

Таб.1. Маса и полнеж на елементарни честички

<i>честичка</i>	<i>маса</i>	<i>полнеж</i>
протон	$1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	$+1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
неутрон	$1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	0
електрон	$9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$	$-1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Јадрото на атомите е составено од хадрони чиј составен дел се протони, неутрони и мезони. Хадроните не се прости елементарни честички бидејќи тие се составени од помали елементарни честички наречени кваркови. Во групата елементарни честички покрај кварковите припаѓаат и честичките наречени лептони, како што се електроните и позитроните. Помеѓу протоните, бидејќи се истоимено наелектризирани, дејствуваат електростатички одбивни сили. Мезоните со огромна брзина изменуваат позитрони помеѓу протоните и неутроните, како и помеѓу самите протони, создавајќи при тоа привлечни сили кои се спротивставуваат на електростатичките одбивни сили во внатрешноста на јадрото на атомите.

## 2. ЕЛЕКТРИЦИТЕТ И ФЕНОМЕНИ КОИ СЕ БАЗИРААТ НА ЕЛЕКТРИЦИТЕТ

Електризирањето е појава карактеристична како за елементарните честички (електрони, протони, античестички и др.), така и за макроскопските тела.

Електризирањето на едно макроскопско тело е збир од количествата електрицитет на сите елементарни полнежи од кои е составено тоа тело. Најчесто, вкупното количество електрицитет кај едно тело е еднакво на нула, бидејќи кај секој атом бројот на позитивните (протони) е еднаков на бројот на негативните полнежи (електрони).

Ако дојде до нарушување на рамнотежата на електрицитетот кај атомите или молекулите, се создаваат наелектризираните атоми или атомски групи кои се нарекуваат јони. Негативно наелектризираните јони се анјони, а позитивно наелектризираните јони се нарекуваат катјони. Атомите на даден хемиски елемент кои имаат ист број протони и електрони може да имаат различен број неутрони и се нарекуваат изотопи.

Атомите на еден ист хемиски елемент меѓусебно се соединуваат при што се добиваат молекули на тој елемент, додека со соединување на атоми од различни елементи се добиваат хемиски соединенија.

Силите на меѓусебното дејство помеѓу атомите имаат електростатичка природа и може да бидат одбивни или привлечни.

Помеѓу истоимено наелектризираните атоми или атомски групи дејствуваат одбивни сили кои се спротивставуваат на нивното соединување. Дејството на одбивните сили нагло расте со намалувањето на растојанието помеѓу наелектризираните атоми или атомските групи.

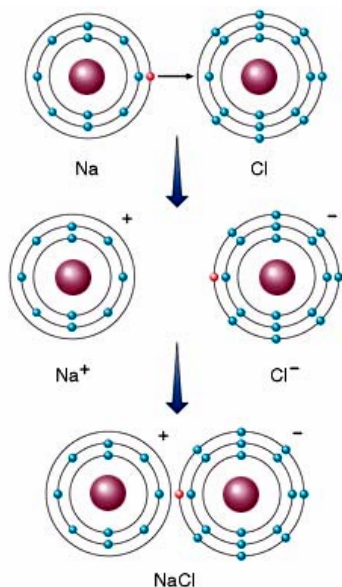
Привлечните сили помеѓу истоимено наелектризираните атоми или атомските групи се јавуваат како резултат на меѓусебното дејство на непополнетите надворешни електронски обвивки, бидејќи атомите имаат тенденција испразнетите места на електроните да ги пополнат со електрони од друг атом стапувајќи со него во рамнотежа.

### 2.1. ЕЛЕКТРОСТАТИЧКИ ВРСКИ ПОМЕЃУ АТОМИТЕ

Постојат различни начини на кои може да се соединат атомите, односно постојат различни хемиски врски и тие настануваат како резултат на електростатички интеракции. Всушност, хемиските врски се образуваат со размена на електроните од највисокото енергетско ниво, т.н. валентни електрони меѓу атомите што ја градат врската. Електроните во електронската обвивка на атомот немаат иста енергија и енергетската состојба на електронот во атомот е одредена со вредностите на квантните броеви. Типот и природата на хемиската врска се одредени со распоредот на валентните електрони кои учествуваат во градењето на врската. Всушност, хемиските врски се образуваат со размена на валентните електрони меѓу атомите што ја градат врската. Притоа, атомите што учествуваат во размената на електрони се стремат да постигнат стабилна електронска конфигурација.

Хемиски врски меѓу атомите кои битно се разликуваат во распределбата на валентните електрони се: јонска, ковалентна и метална врска.

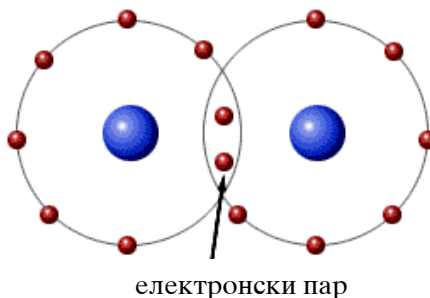
Во хемијата, *јонската врска* е карактеристична за соединенија образувани од елементи со голема разлика во електронегативноста, односно меѓу елементи кои имаат голема разлика во бројот на валентни електрони. Металите имаат мала енергија на јонизација што значи дека лесно можат да испуштаат електрони. Неметалите пак, имаат голем афинитет кон електронот. Големата вредност на афинитетот кон електронот покажува дека неметалите лесно примаат електрони.



Сл.2.1. Јонска врска

Кога доаѓа до хемиска реакција меѓу атоми на метал и неметал, металот оддава електрони, при што преминува во позитивно наелектризиран јон – катјон, а атомот на неметалот ги прима ослободените електрони, при што преминува во негативно наелектризиран јон – анјон. Бројот на оддадените, односно примените електрони, зависи од валентноста на атомите кои ја градат врската. Создадените јони имаат спротивни полнежи, па затоа меѓу нив дејствуваат силни електростатички, односно привлечни кулонови сили.

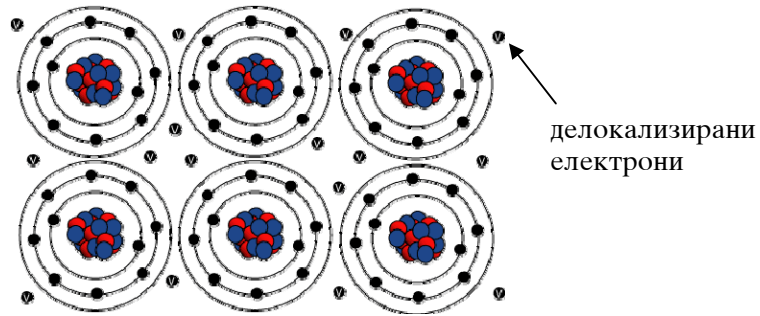
*Ковалентната врска* се добива со создавање на заеднички електронски парови меѓу атоми на еден ист неметал или меѓу атоми на елементи кај кои нема многу голема разлика во електронегативноста.



Сл.2.2. Ковалентна врска

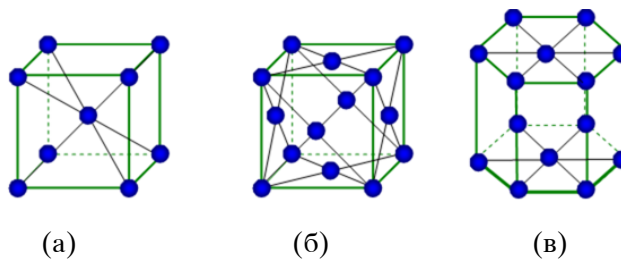
И кај атомите кои се соединуваат со ковалентна врска постои тенденција со меѓусебно поврзување да постигнат стабилна електронска конфигурација на инертни гасови. За да се постигне таква конфигурација, кај ковалентната врска, за разлика од јонската врска, атомот не го оддава електронот на другиот атом, туку секој од нив учествува со одреден број електрони и тоа со толкав број, колку што им недостасува, при што се добиваат еден, два или повеќе електронски парови.

*Метална врска* е хемиска врска која ги поврзува атомите на металите. Атомите на металите обично содржат голем број на електрони во нивната валентна обвивка споредено со нивната периода или енергетско ниво. Овие електрони лесно може да се ослободат од атомите и вклучени во ваквата врска се делокализирани низ кристалната структура на металот. Метална врска е всушност електростатичко привлекување меѓу атомите на металите или на нивните јони и на делокализираните електрони.



Сл.2.3. Метална врска

Атомите кај металите се подредуваат во разни организирани структури, наречени кристали, а распоредот на атомите во кристалот се нарекува кристална структура. Најмалата група атоми која формира карактеристична структура на кристална решетка на даден метал се нарекува основна или елементарна ќелија. Таа е составен блок на кристалот и еден кристал може да содржи многу елементарни ќелии. Идеалната кристална структура се одликува со правилен геометриски распоред на атомите во просторот.



Сл.2.4. Кристална структура на: (а) просторно центрирана решетка, (б) површински центрирана решетка и (в) хексагонална решетка

Кај металите се среќаваат три основни кристални структури:

- просторно центрирана решетка – алфа-железо, хром, молибден, тантал, волфрам и ванадиум;
- површински центрирана решетка – гама-железо, алуминиум, бакар, никел, олово, сребро, злато и платина;
- хексагонална решетка – берилиум, кадмиум, кобалт, магнезиум, алфа-титаниум, цинк и циркониум.

Причината поради која металите формираат различни кристални структури е да се намали енергијата потребна за да се распоредат во правилна структура.

## 2.2 СТАТИЧКИ ЕЛЕКТРИЦИТЕТ И МЕТОДИ НА ЕЛЕКТРИЗИРАЊЕ НА ТЕЛАТА

### 2.2.1. Статички електрицитет

*Статички електрицитет* е појава каде вкупното количество електрицитет е различно од нула, а притоа елементарните полнежи се неподвижни и количеството електрицитет не се менува со времето.

Телото не е наелектризирано ако збирот на позитивните и негативните електрични полнежи е еднаков на нула и ако полнежите се рамномерно распоредени во неговата внатрешност. Под дејство на надворешно електрично поле може да дојде до прераспределба на електричните полнежи при што материјалот се поларизира. Таквото електризирање се нарекува врзивно електризирање, а количествата електрицитет врзивни полнежи. Дополнителното надворешно електризирање се нарекува слободно електризирање, а електричните полнежи, слободни полнежи.

SI единица за количество електрицитет е кулон (C)

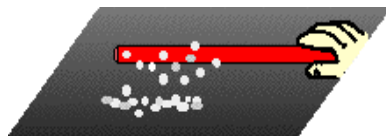
1C содржи приближно  $6,24 \cdot 10^{18}$  елементарни честички. Кулонот се дефинира како количество електрицитет кое за време од 1 секунда пренесува струја од 1 ампер.

### 2.2.2. Методи на електризирање на телата

Постојат повеќе методи на електризирање на телата:

#### 1. Електризирање со триење (*трибоелектричен ефект*)

Ова електризирање настанува како резултат на способноста на атомите на различни материјали при допир да оддаваат или да примаат електрони кога истите се различно наелектризирани.



Сл.2.5. Електризирање со триење



Ако стаклена прачка се протрие со кожа тогаш прачката ќе стане позитивно наелектризирана бидејќи од неа се одвојуваат електрони кои преминуваат во кожата, додека ако прачка изработена од пластика се протрие со волна, ќе се наелектризира со негативно количество електрицитет. Наелектризираните прачки имаат способност да првлекуваат ситни ливчиња хартија.

## 2. Електризирање со кондукција

Електризирањето со кондукција настанува при допир на наелектризирано со електронеутрално тело.

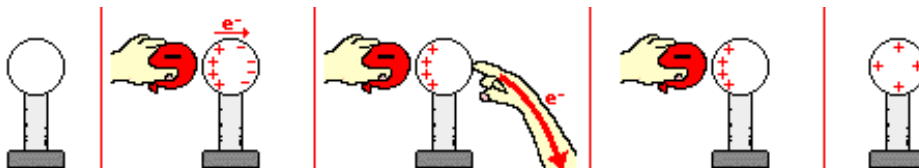


Сл.2.6. Електризирање со кондукција

Ако со позитивно наелектризирано тело допреме електронеутрален метален објект како на сл.2.6. тогаш електроните во објектот кој бил претходно електронеутрален ќе се придвижат кон позитивно наелектризираното тело, така што спротивната страна од објектот кој сакаме да го наелектризираме ќе биде позитивно наелектризирана, како резултат на недостиг од електрони. Потоа, ако објектот се допре со рака, електроните ќе се придвижат од раката кон објектот, така што тој ќе стане негативно наелектризиран, како резултат на вишокот електрони.

## 3. Електризирање со индукција

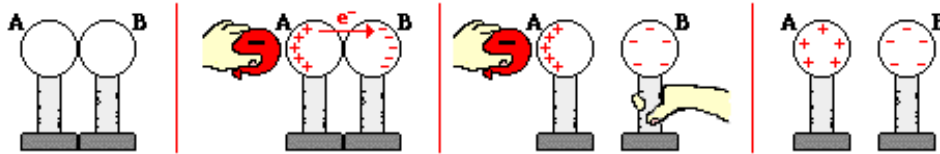
Електризирањето со индукција претставува електризирање на електро-неутрален преку наелектризиран објект во отсуство на меѓусебен допир на двата објекта.



Сл.2.7. Електризирање на единечна сфера со индукција

Ако негативно наелектризиран објект приближиме до електронеутрална метална сфера како на сл.2.7, тогаш подвижните електрони во металната сфера ќе се придвижат на најголемата можна оддалеченост од негативно наелектризираниот објект. Како резултат на тоа, спротивната страна од металната сфе-

ра во чија близина е поставен негативно наелектризираниот објект ќе биде позитивно наелектризирана поради недостигот од електрони. Ако така наелектризираната метална сфера се допре со рака, електроните ќе се придвижат преку раката кон земјата, така што металната сфера ќе остане позитивно наелектризирана како резултат на недостигот од електрони.



Сл.2.8. Електризирање кај двосферен систем со користење на негативно наелектризиран објект

Ако пак приближиме негативно наелектризиран објект до електронеутрален двосферен систем прикажан на сл.2.8, тогаш слободните електрони од негативно наелектризираниот објект ќе се придвижат на спротивната страна од сферата **A** во сферата **B**, на најголемата можна оддалеченост. Како резултат на тоа страната на металната сфера **A** во чија близина е поставен негативно наелектризираниот објект ќе биде позитивно наелектризирана поради недостигот од електрони. Ако ги одвоиме двете метални сфери, тогаш сферата **B** ќе остане негативно, а сферата **A** позитивно наелектризирана.



Сл.2.9. Електризирање кај двосферен систем со користење на позитивно наелектризиран објект

Доколку приближиме позитивно наелектризиран објект до електронеутрален двосферен систем прикажан на сл.2.9, тогаш електроните во двосферниот систем ќе се придвижат на спротивната страна, односно од сферата **B** во сферата **A**, на најголемата можна оддалеченост. Како резултат на тоа, страната на металната сфера **A** во чија близина е поставен позитивно наелектризираниот објект како резултат на вишок на електрони ќе биде негативно наелектризирана. Ако ги одвоиме двете метални сфери, тогаш сферата **A** ќе остане негативно, а сферата **B** позитивно наелектризирана.

*Грмотевицата* е пример за електризирање со индукција во природата.

Грмотевицата е електрично празнење. Електричните полнежи во облаците се разделуваат и формираат позитивни и негативни полнежа. Ако облак кој што е негативно наелектризиран се движи близу до површината на

земјата, електроните ќе бидат отфрлени од облакот, а позитивното количество електрицитет ќе биде насочено кон земјата. Настанува електризирање со индукција бидејќи земјата се наелектризира од облаците. Електроните може да се пренесуваат од облак на облак (сл.2.10.а) или од облак на земја (сл.2.10.б). Резултат од овие трансфери на електрони е појавата на голема искра позната како грмотевица.



(а)



(б)

Сл.2.10. Пренос на електрони од: (а) облак на облак, (б) облак на земја

### 2.3. ЕЛЕКТРОСТАТИЧКИ МЕРНИ ИНСТРУМЕНТИ

Постојат повеќе видови електростатички мерни инструменти. Првите главно служеле за детектирање и мерење на количеството електрицитет. Современите електростатички мерни инструменти имаат повеќекратна намена, односно со нив може да се одредува и ефективност на антистатичките процеси, јонизација, јачината на електрично поле, приближната вредност на кондуктивноста и индуктивноста, потенцијалната разлика на изолаторскиот филм и др.

Првиот електростатички мерен инструмент е електроскопот кој бил конструиран од британскиот физичар Вилијам Гилберт (William Gilbert) во 1600 година.

1. *Елекџроскоп*: прв инструмент за детектирање или мерење на количество електрицитет.

Електроскопот е инструмент за детектирање на присуството на статичкиот електрицитет. Се состои од два тенки метални листови поставени на метална прачка. При допир на прачката со наелектризирано тело, дел од електроните во прачката се пренесуваат кон листовите (ако изворот е негативен) или се извлекуваат од листовите кон прачката (ако изворот е позитивен). И во двата случаи, металните листови се истоимено наелектризирани и поради тоа се одбиваат еден од друг. Големината со која тие се отклонуваат е пропорционална на количеството електрицитет на наелектризираното тело.

Доколку постои баждарена скала за определување на количеството електрицитет, инструментот се нарекува електрометар.



(a)



(б)

Сл.2.11. Електростатички мерни инструменти: (а) електроскоп;  
(б) електрометар

### Современи електростатички мерни инструменти

Во денешно време постојат голем број различни електростатички мерни инструменти со повеќекратна намена. Такви се: дигиталниот електростатички волтметар, мерните инструменти за определување на јачината на електричното поле и поларитетот, инструментите за мерење на електростатичкото празнење и др.

- Дигитален електростатички волтметар



Дигитален електростатички волтметар (сл.2.12) е инструмент кој служи за мерење на:

- напонот и ефективност на антистатичките процеси;
- јонизацијата;
- јачината на електричното поле во воздухот;
- приближната вредност на кондуктивноста;
- приближната вредност на привлечната /одбивната сила меѓу површините со полнежи;
- потенцијалната разлика на изолаторскиот филм со различна дебелина.

Сл.2.12. Дигитален електростатички волтметар

- Електростатички мерни инструменти за мерење на јачината на електричното поле и на поларитетот

На сл.2.13 прикажан е изгледот на електростатичките мерни инструменти кои служат за мерење на јачината на електричното поле и на поларитетот.



Сл.2.13. Електростатички мерни инструменти за мерење на јачината на електричното поле и на поларитетот



Мерниот инструмент прикажан на сл.2.14 служи за мерење на електростатичкото празнење, регистрирајќи го протокот на електрони од раката кон земјата, на персоналот при влегување во работниот простор каде статичкото полнење може да предизвика ризик од искрење или штети од електростатичкото празнење во микроелектроничките производства.

Сл.2.14. Електростатички мерен инструмент за мерење на електростатичко празнење

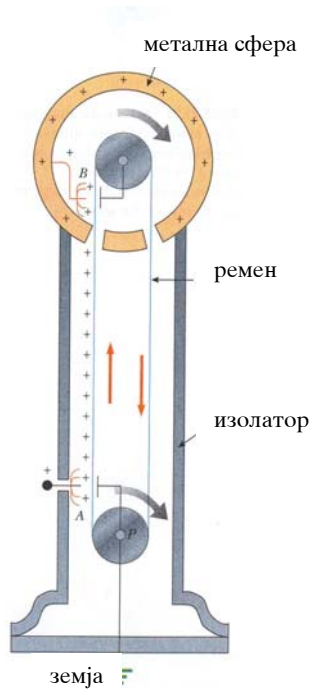
## 2.4 ЕЛЕКТРОСТАТИЧКИ МАШИНИ

Постојат повеќе видови електростатички машини со различни конструктивни изведби и служат за акумулирање на многу високи напони. Првата машина за продукција на статички електрицитет била изработена од американскиот физичар Роберт Ван де Граф (Robert Van de Graff) во 1929 год. и била наречена Вандеграфов генератор.

- *Вандеџрафов генератор* : прва машина за продукција на статички електрицитет



Сл.2.15. Вандеграфов генератор



**Вандеграфовиот** генератор е електростатичка машина со подвижен ремен за акумулирање на многу високи напони во шуплива метална сфера. Големата сфера игра улога на кондензатор за складирање на количеството електрицитет. Малата сфера служи за електрично празнење на големата сфера. Потенцијалните разлики може да бидат до 5MV. Примената за овие високо напонски генератори вклучува ракување со катодни цевки, забрзување на електрони за стерилизација на храна и процесни материјали, и забрзување на протони за физички нуклеарни експерименти. Вандеграфовиот генератор може да се смета како извор на постојана струја.

Сл. 2.16. Напречен пресек на Вандеграфовиот генератор

- Други електростатички машини



Топлерова, Бонетиева, Боненбергерова и Николсонова машина



Вимшурстова машина



Искри произведени од Вимшурстовата машина

Сл.2.17. Други електростатички машини

*Вимшиурстйовајѝа машина* (1882) генерира високи напони. Изработена е од два големи дискови со спротивна ротација поставени на вертикална рамнина, со вкрстени прачки поставени преку нив, и простор за искрење помеѓу две метални сфери. Принципот на работа на машината е таква што дисковите направени од изолаторски материјал поттикнуваат дисбаланс на полнење, експоненцијално сè додека не се постигне јонизација на воздухот и максимално искрење. Генерираните полнења се собираат во колектори, кои се состојат од метални чешли монтирани на спроводници, поставени на мало растојание од површината на дисковите. Колекторите се монтирани на изолаторски држачи и се поврзани со краевите на машината. Машината е самостартувачка, што значи дека не е потребно снабдување со надворешна електрична сила за формирање на почетното полнење. Механичката сила која е потребна да ги сврти дисковите се претвора во електрична сила. Како резултат на тоа се создава постојана струја. Енергијата на искрење може да биде зголемена со додавање на пар од Лајденов сад. Тој произведува искри кои се околу една третина од должината на дијаметарот на дискот, и неколку десетини  $\mu\text{A}$  струја.

## 2.5. КУЛОНОВ ЗАКОН

Најмалото можно количество електрицитет во природата е количеството електрицитет на електронот. При тоа, електронот и протонот носат исто количество електрицитет, но се спротивно наелектризирани.

Кое било друго количество електрицитет, што може да се сретне во природата, е еднакаво на некој цел број помножен со количеството електрицитет што го носат електронот или протонот.

Електричните полнежи се честички со бесконечно мали димензии и наликуваат на точка.

Меѓу два електрични полнежи дејствува сила која е право пропорционална со количествата електрицитет на тие полнежи, а обратно пропорционална од квадратот на нивното меѓусебно растојание.

Силата која дејствува помеѓу електричните полнежи се нарекува електростатичка или Кулонова сила и е во правец на линијата што поминува низ двата електрични полнежи.

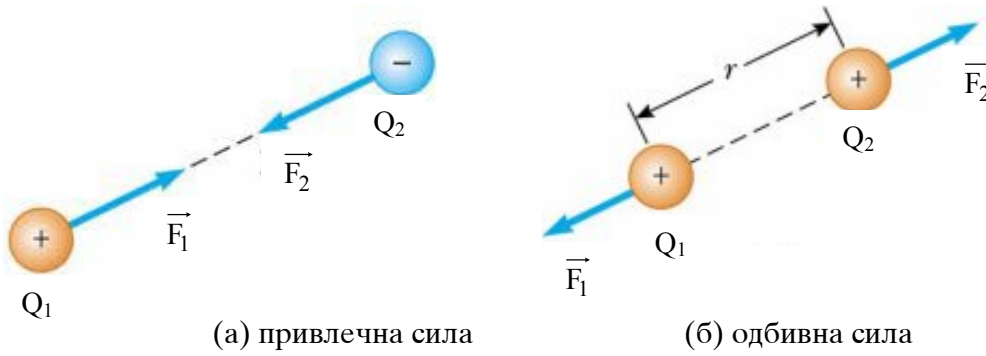
Електричната сила помеѓу електрон и протон е привлечна, а помеѓу два протони, или два електрони е одбивна.

Силата помеѓу полнежите е привлечна ако се тие спротивно наелектризирани, односно одбивна, ако се истоимено наелектризирани.

Кулоновиот закон важи и за наелектризирани макроскопски тела доколку нивните димензии се многу мали во однос на нивното меѓусебно растојание.

$$F[N] = \pm k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \quad \text{-- алгебарски облик на Кулоновиот закон}$$

Алгебарскиот облик на Кулоновиот закон го дава интензитетот на силата која дејствува меѓу наелектризираните тела.



Сл.2.18 Електростатичка (Кулонова) сила: (а) привлечна; (б) одбивна

$$\vec{F} = \pm k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \vec{r}_0 \quad - \text{ векторски облик на Кулоновиот закон}$$

Векторскиот облик на Кулоновиот закон ги дава правецот и насоката на електростатичката сила.

$F$  [N] – електростатичка (Кулонова) сила

$Q_1$  и  $Q_2$  [C] – количества електрицитет

$r$  [m] – растојание меѓу наелектризираните тела

$k$  – константа на пропорционалност

$\vec{r}_0$  – единечен вектор на меѓусебното растојание на наелектризираните тела

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \quad - \text{ Кулонова константа}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \left[ \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2} \right]$$

$\epsilon_0$  [F/m] – апсолутна диелектрична константа  
(диелектрична константа на вакуум)

$\epsilon_r$  – релативна диелектрична константа

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \left[ \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \right] \quad - \text{ за вакуум}$$



Таб.2. Диелектрични константи на некои материјали при собна температура

материјал	$\epsilon_r$
воздух	1
вода	76,5-80
хартија	3
стакло	7,5-8
порцелан	5,1-5,9
минерални масла	2,2-2,4
силиконско масло	2,5
глицерин	47
полистирен	2,4-3
гранит	5
гума	2-4
силикон	2,4
тефлон	2,1
вазелин	2,16
дрво	1,4-2,9

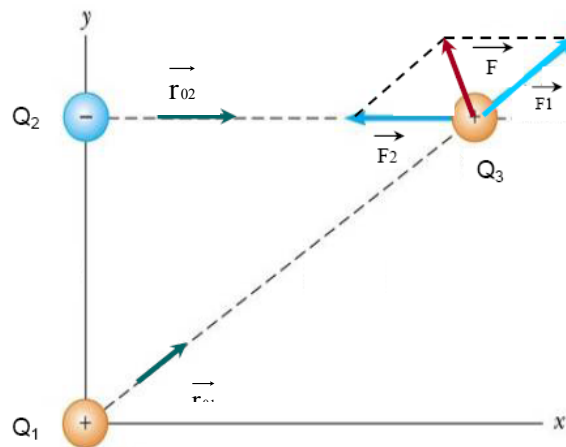
Силата со која дејствуваат два електрични полнежи меѓусебно не се менува во присуство на трет електричен полнеж.

Во случај на повеќе електрични полнежи, силата со која другите полнежи дејствуваат на еден од нив, претставува векторски збир од силите со кои секој од тие полнежи поединечно дејствува на првиот. Овој принцип се нарекува принцип на суперпозиција на електростатичките сили.

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

$\vec{F}$  – вектор на резултантна Кулонова сила

$\vec{F}_1, \vec{F}_2$  – вектори на сили на поединечните полнежи



Сл.2.19 Принцип на суперпозиција на електростатичките сили

Алгебарската вредност, односно интензитетот на резултантната Кулонова сила, се определува со следново равенство:

$$F = \sqrt{|F_1|^2 + 2|F_1||F_2|\cos(\vec{F}_1\vec{F}_2) + |F_2|^2}$$

F [N] – алгебарска вредност на резултантната сила

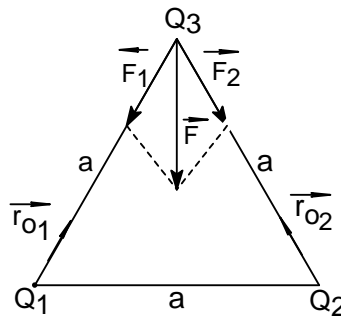
### Пример 1.

Три електрични полнежи со количества електрицитет  $Q_1=Q_2=10^{-10}$  C и  $Q_3=-10^{-10}$  C се наоѓаат во воздух во темињата на рамностран триаголник со должина на страна 1 cm. Да се определи резултантниот вектор на Кулоновата сила на полнежот со количество електрицитет  $Q_3$ .

Решение:

$$\vec{F}_1 = k \frac{Q_1 \cdot Q_3}{a^2} \vec{r}_{01} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{10^{-10} \cdot (-10^{-10})}{(1 \cdot 10^{-2})^2} = -9 \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \vec{r}_{01}$$

$$\vec{F}_2 = k \frac{Q_2 \cdot Q_3}{a^2} \vec{r}_{02} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{10^{-10} \cdot (-10^{-10})}{(1 \cdot 10^{-2})^2} = -9 \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \vec{r}_{02}$$



Векторот на Кулоновата сила на полнежот со количество електрицитет  $Q_3$  е:

$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ , а алгебарската вредност на резултантниот вектор изнесува:

$$F = \sqrt{F_1^2 + 2 \cdot F_1 F_2 \cos(\vec{F}_1 \vec{F}_2) + F_2^2}$$

$$F = \sqrt{(9 \cdot 10^{-7})^2 + 2 \cdot (9 \cdot 10^{-7}) \cdot (9 \cdot 10^{-7}) \cos \frac{\pi}{3} + (9 \cdot 10^{-7})^2}$$

$$F = 15,57 \cdot 10^{-7} \text{ [N]}$$

### 2.5.1. Електрично поле

Електрично (електростатичко) поле е просторот околу наелектризираните тела, во кој се манифестира дејството на Кулоновите сили.

$$E = \frac{F \left[ \frac{N}{C} \right]}{Q \left[ \frac{N}{C} \right]} = \frac{U \left[ \frac{V}{m} \right]}{r \left[ \frac{m}{m} \right]} = k \frac{Q \left[ \frac{N}{C} \right]}{r^2 \left[ \frac{m^2}{m^2} \right]}$$

$E$  [V/m=N/C] – јачина на електричното поле

$U$  [V] – напон

$Q$  [C] – количество електрицитет

$r$  [m] – растојание меѓу наелектризираните тела

$k$  – константа на пропорционалност

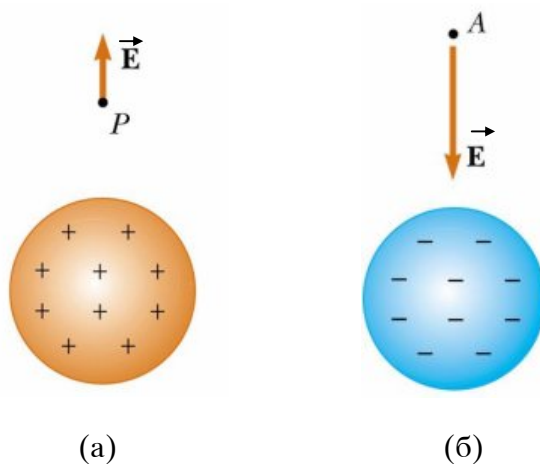
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q} = k \frac{Q}{r^2} \vec{r}_0$$

$\vec{E}$  [N/C] - вектор на јачина на електрично поле

$\vec{r}_0$  - единичниот вектор на меѓусебното растојание и неговата насока секогаш е од наелектризираното тело кон набљудуваната точка во полето.

Векторот на јачината на електрично поле го карактеризира полето од аспект на неговата способност да дејствува со сила врз електричен полнеж внесен во тоа поле.

Векторот на јачината на електричното поле во дадена точка од полето е насочен од позитивното количество електрицитет, а во случај на негативно количество електрицитет има спротивна насока.



Сл.2.20. Насока на векторот на јачината на електричното поле:

- (а) позитивно количество електрицитет;
- (б) негативно количество електрицитет

Механичките сили кои се појавуваат при дејствувањето на електричното поле врз слободните, а при случаи на поларизација, и врз врзивните полнежи, се пренесуваат и на телото кое го носи тој полнеж и настојуваат да го придвижат или да го деформираат. Таквите сили се нарекуваат пондеромоторни сили. Пондеромоторните сили се доста слаби и се применуваат кај електростатичките мерни инструменти, во електронската оптика и др.

*Закон за одржување на количеството електрицитет:*

Затворената површина која го дели просторот на два дела: едниот внатре, во површината, а другиот во надворешноста, се нарекува раздвојна површина. Ако низ раздвојната површина нема проток на материја, просторот во внатрешноста е изолиран систем.

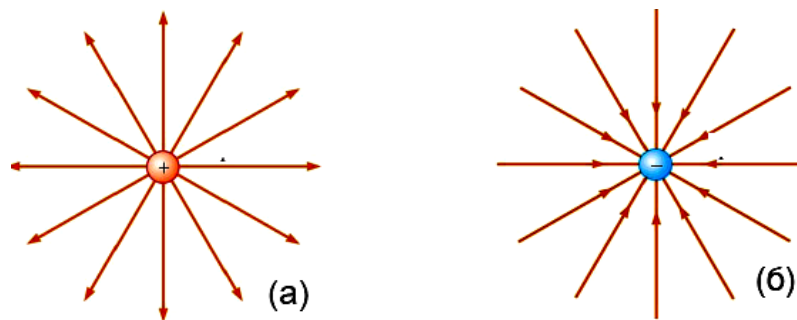
Законот за одржување на количеството електрицитет гласи:

Вкупното количество електрицитет на изолиран систем останува константно, независно од промените во системот.

## 2.5.2. Електрични сили линии

*Електричните сили линии* се замислени линии кои се распоредени во полето така што ги даваат двата карактеристични податоци за векторот на силата со која полето дејствува на електричниот полнеж. Густината на силниците е пропорционална на износот на таа сила, а тангентата на силниците ја дава насоката на силата во набљудуваната точка на полето.

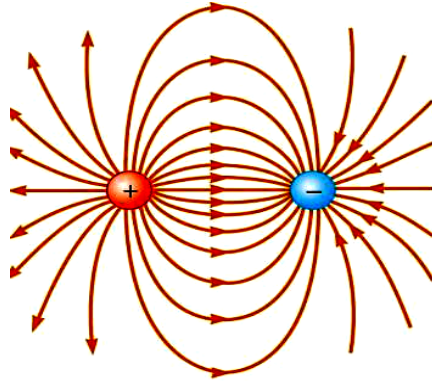
Кај единечниот позитивен електричен полнеж електричните сили линии се насочени радијално од полнежот (сл.2.21.а), а кај негативниот полнеж имаат спротивна насока и се насочени радијално кон полнежот (сл.2.21.б).



Сл.2.21. Електрични сили линии кај: (а) позитивен полнеж и (б) негативен електричен полнеж

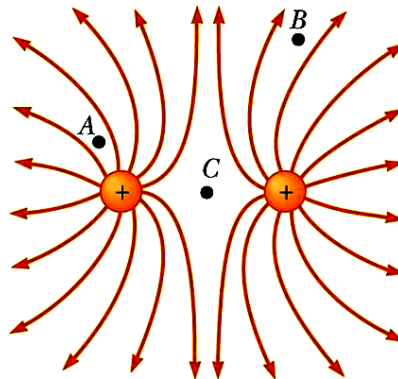
Интензитетот на векторот на јачината на електричното поле во дадена точка од полето на единечен полнеж опаѓа со квадратот на растојанието од тој полнеж.

- Електричните силиви линии помеѓу два електрични полнежи со еднакво количество електрицитет, а спротивно наелектризирани (електричен дипол) насочени се од позитивниот кон негативниот полнеж и нивната густина е голема што укажува на јако електрично поле (сл.2.22).



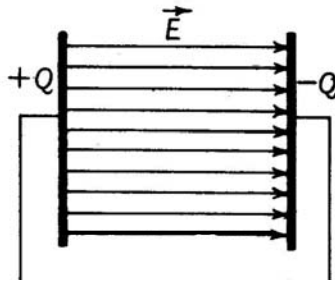
Сл.2.22. Електрични силиви линии помеѓу два спротивно наелектризирани полнежи

- Електричните силиви линии помеѓу два истоимено наелектризирани електрични полнежи со еднакво количество електрицитет (сл.2.23) имаат мала густина што укажува на слабо електрично поле, а во случај кога растојанието меѓу полнежите е многу мало, тие ќе се однесуваат како единечен електричен полнеж и силивите линии ќе бидат приближно радијално распоредени.



Сл.2.23. Електрични силиви линии помеѓу два истоимено наелектризирани полнежи

- Електричните силиви линии помеѓу две спротивно наелектризирани паралелно поставени плочи (сл.2.24) се еквидистантни линии насочени од позитивната кон негативно наелектризираната плоча. Електричното поле во просторот помеѓу наелектризираните плочи е хомогено.

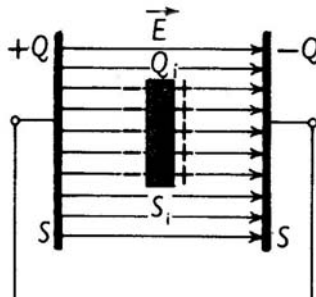


Сл.2.24. Електрични сили линии помеѓу две спротивно наелектризирани паралелно поставени плочи

Во хомогено електрично поле векторот на јачината на полето има еднаков интензитет во сите точки на тоа поле.

### 2.5.3. Електростатичка индукција (инфлуенција)

Ако метален предмет (спроводник) се наоѓа во хомогено електрично поле, на елементарните полнежи на атомите на металниот предмет, тоа електрично поле ќе дејствува со некоја сила. Бидејќи во металите во внатрешноста на кристалната решетка се подвижни само слободните електрони, со дејствувањето на таа сила тие се поместуваат во насока спротивна од онаа која е избрана како насока на полето  $\vec{E}$ .



Сл.2.25. Раздвојување на електричните полнежи на метална плочка под дејство на инфлуенцијата

Електрично неутралната метална плочка станува негативно наелектризирана на едната страна поради вишокот електрони, а на спротивната страна позитивно наелектризирана (сл.2.25). Раздвојувањето на електроните под дејство на електричните сили се нарекува електростатичка индукција, а создадените полнежи на површината од металниот спроводник се нарекуваат индуцирани полнежи. Количината на создадените индуцирани полнежи се еднакви по износ, а спротивни по поларитет.

$$+Q_i = -Q_i$$

Создавањето на индуцираните полнежи во металната плочка трае сè до оној момент додека полето, создадено од електрицитетот насобран на површината на металната плочка, не го поништи влијанието на надворешното електрично поле во просторот што го зазема телото на спроводникот. Значи, индуцираните полнежи го поништуваат влијанието на електричното поле во внатрешноста на спроводниците кога тие се поставуваат во електрично поле. Истава појава ќе се случи и кога телото на спроводникот е шупливо (полето во внатрешноста ќе биде нула).

Оваа појава се користи за заштита на некои уреди и апарати од електричното поле со електростатички штитови кои во најголем број случаи се прават како мрежи, таканаречени Фарадееви кафези.

Како мерка за инфлуенциското дејствување на електричното поле служи густината  $\sigma_i$  на полнежите создадена преку инфлуенцијата на плочката поставена така што нејзината површина  $S_i$  стои нормално во однос на силниците на електричното поле. Густината на создадените полнежи  $\sigma_i$  со инфлуенција е наречена електростатичка индукција и таа има векторски карактер бидејќи е зависна од положбата на површината  $S_i$ . Се нарекува и густина на електричното поместување.

$$\sigma_i = Q_i/S_i$$

$\sigma_i$  [C/m<sup>2</sup>] – густина на индуцираните полнежи

$Q_i$  [C] – количество електрицитет на индуцираните полнежи

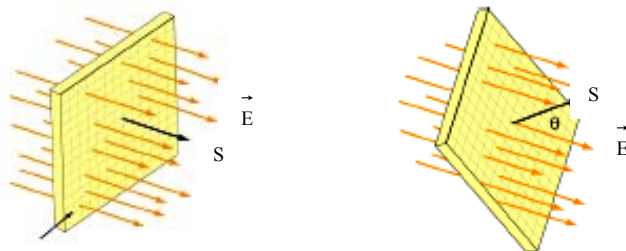
$S_i$  [m<sup>2</sup>] – површина на металната плочка

$$\vec{\sigma}_i = \epsilon \cdot \vec{E}$$

Количеството полнежи создадено преку инфлуенција на плочка со површина  $S_i$ , која е поставена нормално на линиите на векторот  $\vec{E}$ , се пресметува како  $Q_i = \sigma_i S_i$ , а доколку површината  $S_i$  биде поставена косо, под некој агол  $\theta$ , тогаш:  $Q_i = \sigma_i S_i \cos\theta$ .

#### 2.5.4 Флукс на вектор на јачина на електрично поле

При дефинирање на поимот флукс на вектор, се воспоставува релација помеѓу векторска големина и определена површина.



Сл.2.26. Флукс на вектор на јачина на хомогено електрично поле

Флукс на вектор на јачина на хомогено електрично поле низ рамна површина  $S$  е скаларен производ помеѓу векторите  $\vec{E}$  и  $\vec{S}$ .

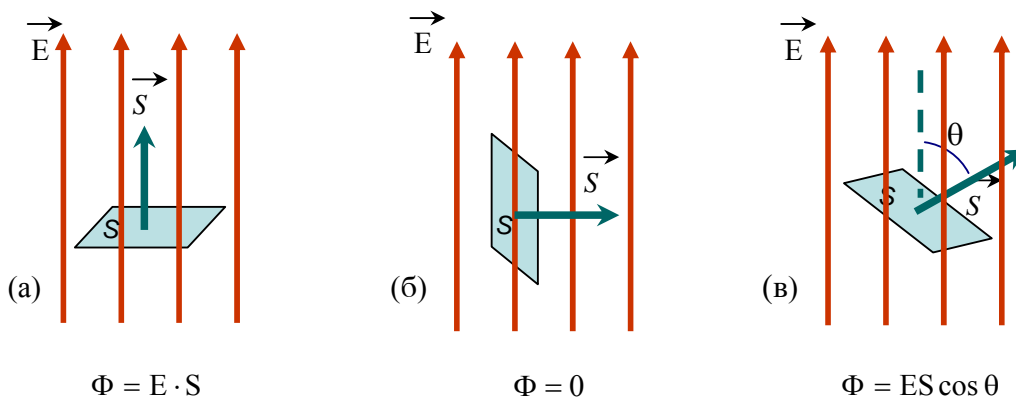
$$\Phi = \vec{E} \cdot \vec{S} = E \cdot S$$

Во случај на косо поставена рамна површина, флуксот претставува производ на нормалната компонента на векторот  $\vec{E}$  на површината и износот на таа површина.

$$\Phi = \vec{E} \cdot \vec{S} = ES \cos \theta$$

$$\vec{S} = S \cdot \vec{n}$$

$\vec{S}$  – вектор на рамна површина  
 $\vec{n}$  – нормална компонента на  $\vec{S}$

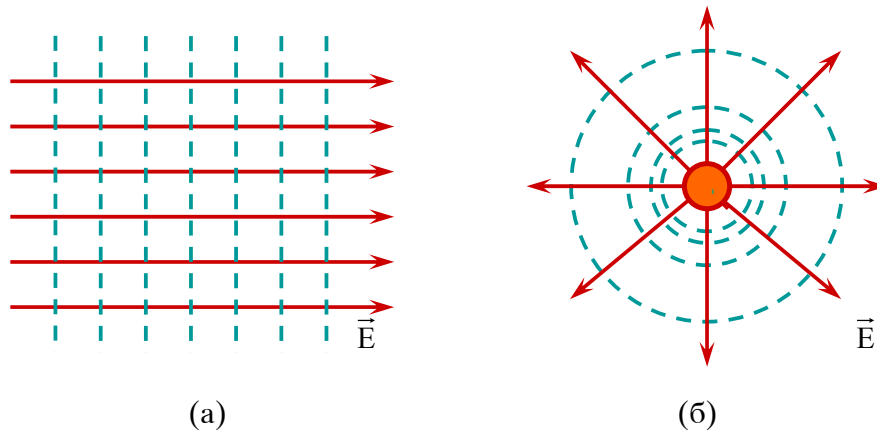


Сл.2.27. Флукс на вектор на јачина на електрично поле низ рамна површина:  
 (а) нормална на компонентата на векторот  $\vec{E}$ ; (б) во правец на компонентата;  
 (в) косо поставена

### 2.5.5. Еквипотенцијални линии и еквипотенцијални површини

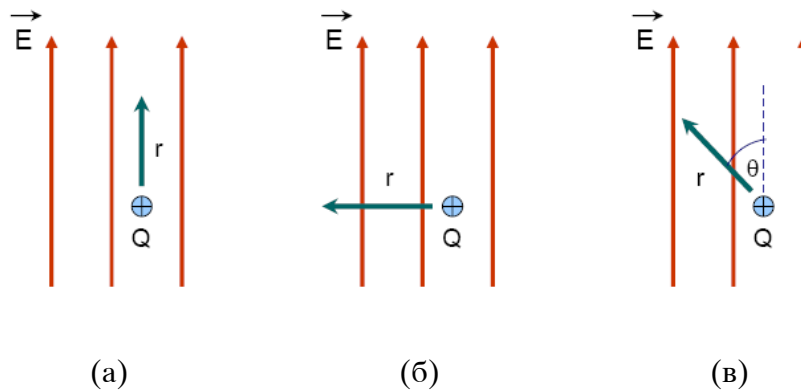
Еквипотенцијалните линии се линии со константен електричен потенцијал и се секогаш нормални на електричните силиви линии. При поместувањето на електричниот полнеж по еквипотенцијалната линија не се извршува работа.





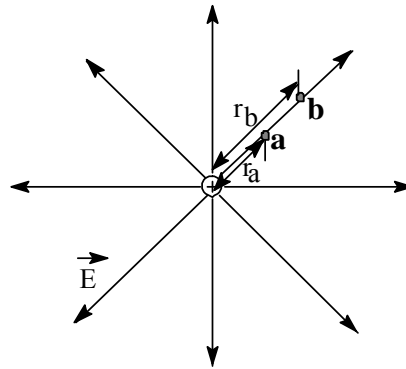
Сл.2.28. Еквипотенцијални линии: (а) на хомогено електрично поле (б) на единечен позитивен електричен полнеж

Работата потребна за пренесување на позитивниот единечен електричен полнеж во хомогеното електрично поле зависи од насоката на движењето на полнежот во однос на насоката на електричните силиви линии на полето.



Сл.2.29. Работа потребна за пренесување на позитивен единечен електричен полнеж во хомогено електрично поле

- (а)  $W = Q \cdot E \cdot r$  – кога полнежот се пренесува во правец на електричните силиви линии на полето
- (б)  $W = 0$  – кога полнежот се движи по еквипотенцијална линија, нормално на електричните силиви линии
- (в)  $W = Q \cdot E \cdot r \cos\theta$  – кога полнежот се придвижува под некој агол во однос на електричните силиви линии



Сл.2.30. Електричен полнеж кој се движи по линија на полето спротивно на насоката на  $\vec{E}$

За електричен полнеж кој се движи по линија на полето спротивно на насоката на  $\vec{E}$ , работата која при тоа ја вршат надворешните сили потребни за придвижување на полнежот се трансформира во потенцијална енергија, што значи поголем потенцијал во таа точка на полето.

Потенцијалот се зголемува во насока спротивна од насоката на векторот  $\vec{E}$ . За хомогено електрично поле потенцијалот се намалува линеарно во насока на векторот на полето, а за електричното поле на единичниот полнеж потенцијалот се намалува со квадратот на растојанието при зголемување на растојанието од полнежот.

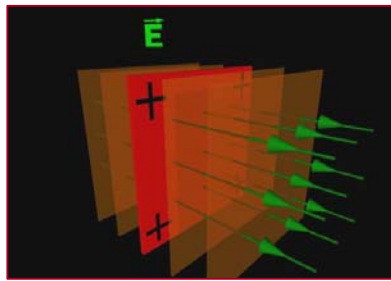
Работата потребна за да се пренесе пробно количество електрицитет од точката  $\mathbf{b}$  до точката  $\mathbf{a}$ , во електрично поле на единичен позитивен електричен полнеж дадена е со изразот:

$$W_{ab} = \int_{r_a}^{r_b} \frac{kQq}{r^2} dr = kQq \left( \frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right)$$

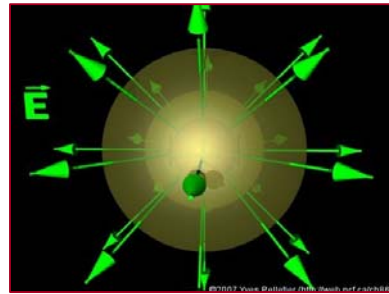
Работата на електричните сили при пренесување на пробен електричен полнеж од една точка во друга не зависи од обликот на патот туку само од положбата на крајните точки.

Работата може да има позитивен или негативен предзнак во зависност од тоа дали пробното количество електрицитет е позитивно или негативно наелектризирано. Работата на силите на електростатичкото поле по затворен пат е еднаква на нула.

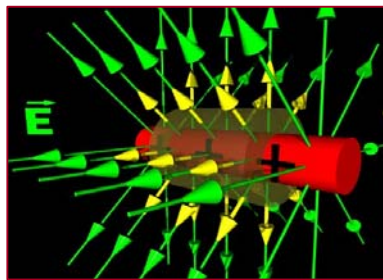
Еквипотенцијалните линии разгледувани во тродимензионален простор формираат *еквипотенцијална површина*. При поместување на електричен полнеж по еквипотенцијална површина не се извршува работа.



(a)



(б)



(в)

Сл.2.31. Еквипотенцијални површини на наелектризирани:

(a) плоча

(б) сфера

(в) цилиндар

### 2.5.6. Електричен потенцијал и работа

Електричен потенцијал е големина со која се изразува потенцијалната енергија на електричниот полнеж во електричното поле.

$$V[V] = \frac{W \left[ \frac{J}{C} \right]}{Q}$$

Електричниот потенцијал во дадена точка на електричното поле бројно е еднаков на работата што треба да се изврши за да се пренесе позитивен единечен електричен полнеж надвор од електричното поле до таа точка.

$$V_b - V_a = \frac{W_{ab}}{Q}$$

$U [V] = V_b - V_a$  – напон (потенцијална разлика)

$$V_a[V] = E \cdot r = \frac{W}{Q} = k \frac{Q}{r}$$

За повеќе електрични полнежи потенцијалот е:

$$V = k \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{r_i}$$

$V$  [V] – потенцијал во дадената точка на резултантното електрично поле  
 $r_i$  [m] – растојание од поединечните електрични полнежи  $Q_i$  до дадената точка на резултантното електрично поле.

Физичкиот поим за работа се изведува од поимот за сила. Силата врши работа ако телото под дејство на силата се помести, т.е. помине некој пат во правец на дејствувањето на силата. При тоа работата се дефинира како производ на патот и компонентата на силата во правец на патот.

На единечен електричен полнеж поставен во електрично поле силата на полето ќе дејствува на полнежот и ќе го придвижува сè додека тој се наоѓа во електричното поле. Во зависност од големината, односот на правецот и насоката на силата и патот кој се поминува може да се определи работата која ја извршила силата.

$W$  [J=Nm=CV=Ws] =  $E \cdot Q \cdot r = Q \cdot U$  – работа

## 2.6. ЕЛЕКТРИЧНИ КОНДЕНЗАТОРИ

*Електричен кондензатор* е електротехнички елемент кој може да ја сочува енергијата во облик на електрично поле.

Електричниот кондензатор претставува систем од два спроводника, раздвоени со диелектрик и наелектризирани со еднакво количество електрицитет со спротивен предзнак. Спроводниците кои го сочинуваат кондензаторот се нарекуваат електроди. Како диелектрик помеѓу електродите на кондензаторот може да се користи: воздух, хартија, керамика, лискун, пластична маса и др.



Сл.2.32. Различни видови кондензатори: повеќеслоен керамички, диск керамички, повеќеслоен фолијски, цвечест керамички, полистиролски (оксијален и радијален), електролитски.

### Карактеристики на кондензатори

Основна карактеристика на кондензаторите е капацитативноста, која зависи од обликот, димензиите и меѓусебната положба на електродите, како и од карактеристиките на диелектрикот помеѓу нив.

$$C[F] = \frac{Q}{U} \left[ \frac{C}{V} \right]$$

$C [F]$  – капацитет (капацитативност) на кондензаторот

Кондензаторот има капацитет од **1F** ако на него се насобере количество електрицитет од 1C при напон на изворот од 1V.

Во практиката оваа единица е преголема, затоа се земаат намалени единици со префикси: микрофарад ( $1\mu F = 10^{-6} F$ ), нанофарад ( $1nF = 10^{-9} F$ ) и пикофарад ( $1pF = 10^{-12} F$ ).

Друга поважна карактеристика е работниот напон на кондензаторот. Номиналниот работен напон е најголемиот напон помеѓу електродите на кондензаторот кој овозможува долготрајна работа со одржување на работните карактеристики при нормални температурни разлики. Тој мора да биде помал од пробивниот напон при кој доаѓа до пробивање на диелектрикот како резултат на електричното поле кое создава галвански спој меѓу електродите.

### Видови кондензатори

1. Во зависност од диелектрикот, кондензаторите може да бидат:

- *Воздушни кондензатори:* се употребуваат во високофреквентните радиопредаватели и имаат мала капацитативност.
- *Керамички кондензатори:* имаат широко фреквентно подрачје, мали загуби, голема капацитативност по единица површина и голем температурен коефициент.



Сл.2.33. Керамички кондензатори

- *Поларизирани кондензатори:* диелектрикот се создава по приклучувањето на еднонасочниот електричен напон. Служат за израмнување на осцилациите кај еднонасочните напони. Најчесто користени поларизирани кондензатори се електролитските кондензатори.

- *електролитски кондензатори*: како електролит помеѓу електродите се користи раствор од боракс, фосфати или карбонати. Имаат голема капацитативност по единица површина.



Сл.2.34. Електролитски кондензатори

- *Танталов кондензатор*: има мал работен напон (ретко над 100V), голема толеранција и фактор на загуби и голема капацитативност. Наоѓа примена кај интегралните електронски кола.

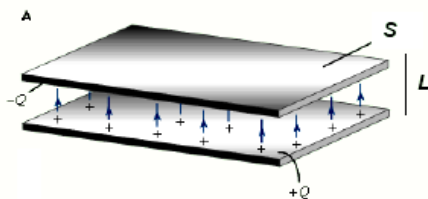


Сл.2.35. Танталови кондензатори

2. Во зависност од конструктивниот облик, кондензаторите можат да бидат: плочести, цилиндрични и сферични.

- *плочест кондензатор*

Плочестиот кондензатор се состои од две рамни паралелни спроводливи плочи. Плочите се наелектризирани со исто количество електрицитет со спротивен предзнак и се нарекуваат електроди. Електричното поле кај плочестиот кондензатор е хомогено.



$$C[F] = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \frac{S}{L}$$

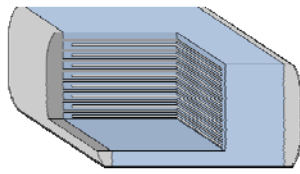
Сл.2.36. Плочест кондензатор

C [F] – капацитет на плочест кондензатор

S [m<sup>2</sup>] – површина на плочата

L [m] – растојание меѓу плочите

Доколку плочестиот кондензатор се состои од повеќе плочи, капацитетот на таквиот кондензатор се пресметува по следнава равенка:

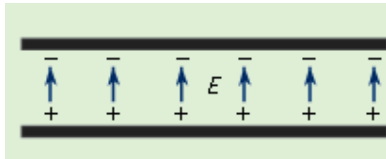


$$C[F] = (n - 1) \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot S}{L}$$

Сл.2.37. Плочест кондензатор со повеќе плочи

$C [F]$  – капацитет на плочест кондензатор кој се состои од  $n$  плочи

Електричното поле кај плочест кондензатор се пресметува по следнава равенка:



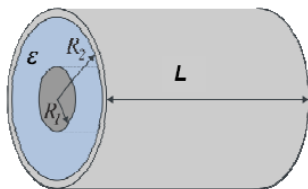
$$E \left[ \frac{N}{C} \right] = \frac{Q}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot S}$$

Сл.2.38. Електрично поле кај плочест кондензатор

$E [N/C]$  – електрично поле кај плочест кондензатор

- цилиндричен (коаксијален) кондензатор

Коаксијалниот кондензатор се состои од цилиндричен спроводник со кружен напречен пресек и надворешен спроводник. Ваковиот систем со голема должина има голема важност во електротехниката и се нарекува коаксијален вод. Коаксијалните водови се користат за пренос на енергија во енергетиката, како и за пренос на информации во телекомуникациите.



$$C[F] = 2\pi\epsilon_0\epsilon_r \frac{L}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}$$

Сл.2.39. Цилиндричен (коаксијален) кондензатор

$C [F]$  – капацитет на цилиндричен кондензатор

$R_1 [m]$  – внатрешен полупречник на цилиндричниот кондензатор

$R_2 [m]$  – надворешен полупречник на цилиндричниот кондензатор

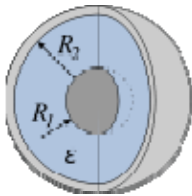
$L [m]$  – должина на цилиндричниот кондензатор

Електричното поле кај коаксијалниот кондензатор се пресметува по следниов израз:

$$E \left[ \frac{\text{V}}{\text{m}} \right] = \frac{Q}{2\pi L \epsilon_0 \epsilon_r}$$

$E$  [V/m] – електрично поле кај цилиндричен кондензатор

- сферичен кондензатор



$$C[\text{F}] = 4\pi\epsilon_0\epsilon_r \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)^{-1}$$

Сл.2.40. Сферичен кондензатор

$C$  [F] – капацитет на сферичен кондензатор

$R_1$  [m] – внатрешен полупречник на сферичниот кондензатор

$R_2$  [m] – надворешен полупречник на сферичниот кондензатор

За единечна сфера со полупречник  $R$ , капацитетот е:

$$C[\text{F}] = 4\pi\epsilon_0\epsilon_r R$$

$C$  [F] – капацитет на сфера

$R$  [m] – полупречник на сферата

$$E \left[ \frac{\text{V}}{\text{m}} \right] = \frac{Q}{4\pi r^2 \epsilon_0 \epsilon_r}$$

$E$  [V/m] – електрично поле кај сферичен кондензатор

### Пример 1

Да се определи капацитетот на плочест кондензатор чии електроди се со површина  $120 \text{ cm}^2$  и растојание меѓу нив  $0,5 \text{ cm}$  ако диелектрикот е масло ( $\epsilon_r=2,5$ )



Решение:

$$C = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{S}{L}$$

$$C = 2,5 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{120 \cdot 10^{-4}}{0,5 \cdot 10^{-2}} = 55 \cdot 10^{-12} \text{ F} = 55 \text{ pF}$$

### Пример 2

Колкав е капацитетот на воздушен кондензатор за радиоприемници, кој се состои од 20 плочи, со површина  $20 \text{ cm}^2$ , ако растојанието меѓу плочите изнесува  $0,06 \text{ cm}$ ?

Решение:

$$C = (n - 1) \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot S}{L}$$

$$C = (20 - 1) \frac{1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 20 \cdot 10^{-4}}{0,06 \cdot 10^{-2}} = 5,6 \cdot 10^{-10} \text{ F}$$

### Пример 3

Колкав капацитет има Земјината топка ако нејзиниот полупречник е  $6380 \text{ km}$ ?

Решение:

$$C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r R$$

$$C = 4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 6380 \cdot 10^3 = 7,09 \cdot 10^{-4} \text{ F}$$

## 2.6.1. Енергија на електрично поле во кондензатор

Енергијата се дефинира како способност да се изврши работа. Бидејќи работа се врши само кога сили поместуваат тело по некој пат, постоењето енергија значи способност да дејствуваат сили кои ќе извршат работа.

$$W_e = \frac{C \cdot U^2}{2} = \frac{Q^2}{2C} = \frac{Q \cdot U}{2}$$

$W_e$  [J] – енергија на електрично поле во кондензаторот

$C$  [F] – капацитет на кондензаторот

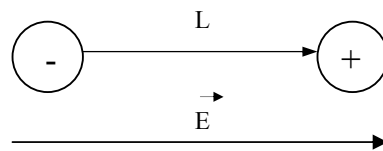
$Q$  [C] – количество електрицитет

$U$  [V] – напон помеѓу плочите на кондензаторот

### 2.6.2. Поларизација на диелектрик во електрично поле

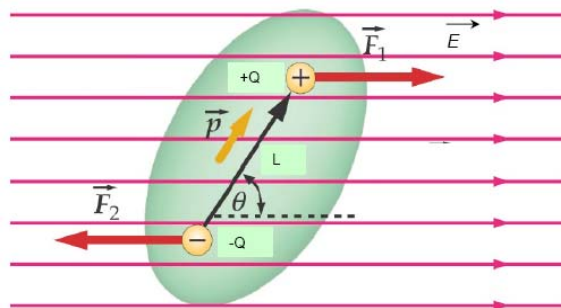
Диелектрици или електрични изолатори се материјали кои имаат слаба електронска спроводливост.

Со внесувањето диелектрик во електрично поле, електростатичките сили ќе дејствуваат врз честичките на атомите и молекулите на диелектрикот, при што ќе дојде до нивна деформација. Позитивните атомски јадра се поместуваат малку кон негативно наелектризираната електрода на кондензаторот, а негативно наелектризираните електрони кон позитивно наелектризираната електрода. Поради овој феномен, секој атом на диелектрикот на едниот крај станува позитивно, а на другиот крај негативно наелектризиран.



Сл.2.41. Поларизација на атомот на диелектрикот

Вака создадените позитивни и негативни полнежи на атомите и молекулите на растојание  $L$  еден од друг, создаваат електричен дипол.



Сл.2.42. Торзија на електричниот дипол во електрично поле

Поради тоа што елементарните полнежи со еден предзнак електричното поле ги одбива, а со друг ги привлекува, доаѓа до спрегнување на силите и појава на завртувачки (торзионен) момент  $\tau$  кој изнесува:

$$\tau = p \cdot E$$

$\tau$  [Nm] – завртувачки (торзионен) момент

$E$  [N/C] – хомогено електрично поле

$p$  [Cm] – електричен диполен момент

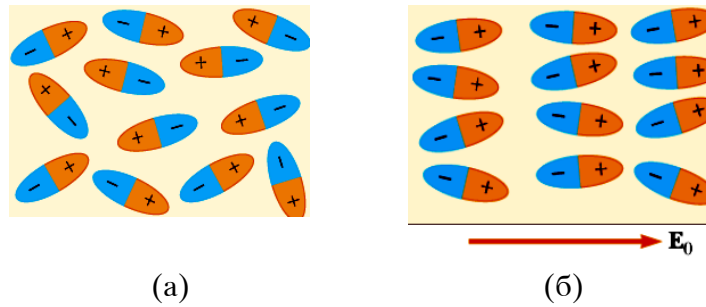
$p = Q \cdot L$

$Q$  [C] – количество електрицитет

$L$  [m] – растојание помеѓу позитивното и негативното количество електрицитет

Во зависност од распоредот на елементарните полнежи во молекулите, изолационите материјали можат да бидат поларни и неполарни.

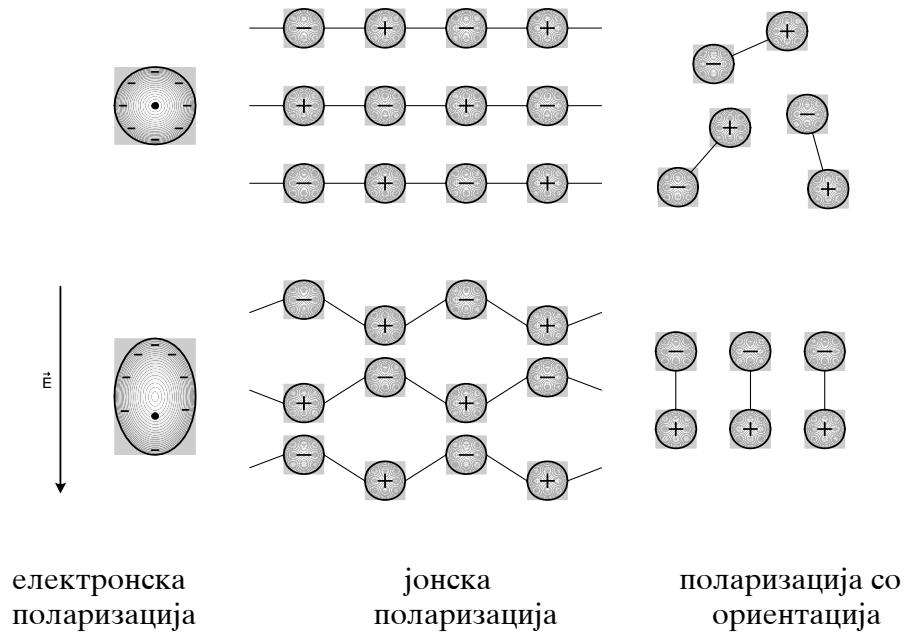
- Во поларните материјали елементарните диполи перманентно се присутни и електричното поле веднаш ги ориентира во своја насока со што настанува поларизација.



Сл.2.43. Молекули со перманентен диполен момент:

- (a) слободно ориентирани во отсуство на надворешно електрично поле
- (б) во присуство на надворешно електрично поле се ориентираат во насока на полето

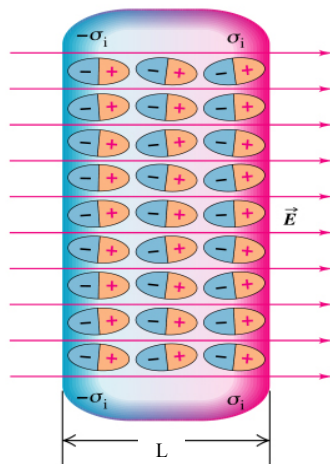
- Кај неполарните материјали, под влијание на полето, полнежот присилно се поместува и со тоа се создава дипол, а потоа диполите се ориентираат во насока на полето.



Сл.2.44. Поларизација на молекули на диелектрик

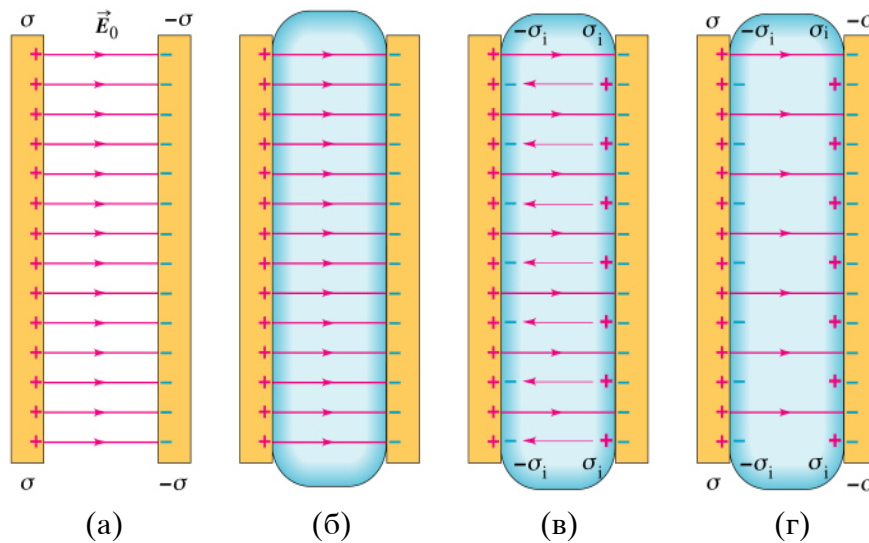
Поларизацијата во случај на неполарни молекули се нарекува електронска поларизација, а во случај на поларни молекули диполна поларизација или поларизација со ориентација.

Во присуство на диелектрик помеѓу плочите на наполнет кондензатор доаѓа до намалување на јачината на надворешното електрично поле бидејќи диелектриот се поларизира и како таков создава електрично поле кое има спротивна насока од електричното поле помеѓу плочите на кондензаторот.



Како последица на поларизацијата, на надворешните гранични површини на диелектриот кон позитивната плоча на кондензаторот се појавуваат негативни полнежи, а кон негативната плоча позитивни полнежи. Во внатрешноста на диелектриот спротивно наелектризираните полнежи се неутрализираат.

Сл.2.45. Поларизација на диелектрик во електрично поле



Сл.2.46. Намалување на јачината на надворешното електрично поле во присуство на диелектрик помеѓу плочите на наполнет кондензатор

- (а)  $E_0$  - надворешно електрично поле помеѓу плочите на кондензаторот
- (б) диелектрик поставен помеѓу плочите на кондензаторот
- (в) јачина на електрично поле на индуцирани електрични полнежи со густина  $\sigma_i$
- (г) намалување на јачината на електричното поле како резултат на создавањето на индуцирани електрични полнежи

$$E = E_0 / k$$

$$E = E_0 - E_i$$

$$E_0 = \sigma / \epsilon_0$$

$E_0$  [N/C] – надворешно електрично поле  
 $E_i$  [N/C] – индуцирано електрично поле  
 $E$  [N/C] – резултатно електрично поле  
 $k$  – диелектрична константа

$$E_i = \sigma_i / \epsilon_0$$

$\sigma$  [C/m<sup>2</sup>] – густина на полнежи помеѓу плочите на кондензаторот  
 $\sigma_i$  [C/m<sup>2</sup>] – густина на индуцирани електрични полнежи

Ако во равенката  $E = E_0 / k$ , се замени за  $E_0 = \sigma / \epsilon_0$ , се добива:

$$E = \sigma / k \epsilon_0$$

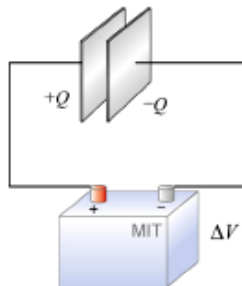
Со супституција во равенката:  $E = E_0 - E_i$ , се добива:

$$\frac{\sigma}{k \epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} - \frac{\sigma_i}{\epsilon_0}$$

$$\sigma_i = \left( \frac{k-1}{k} \right) \sigma$$

Густината на индуцираните полнежи  $\sigma_i$  кај диелектрикот е помала од густината на полнежите  $\sigma$  помеѓу плочите на кондензаторот.

### 2.6.3. Кондензатор во електрично коло



Сл.2.46. Кондензатор во електрично коло

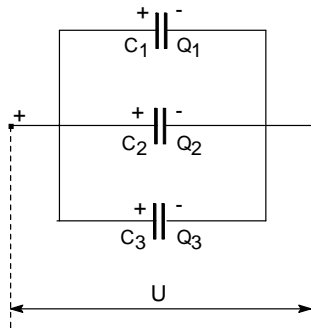
Кога плочест кондензатор со неутрални плочи ќе се приклучи на извор на еднонасочен напон, едната плоча станува позитивно, а другата негативно наелектризирана. Со тоа, меѓу плочите на кондензаторот се воспоставува напон. Полнењето на кондензаторот е извршено само со краткотрајно струење на електричната струја бидејќи постојаната струја од изворот се спречува од страна на изолацијата меѓу плочите.

#### 2.6.4. Поврзување на кондензатори

Поврзувањето на кондензаторите може да биде паралелно, редно (сериско) или комбинирано.

- *Паралелно поврзување на кондензатори*

Паралелната врска на кондензаторите се дефинира во однос на две точки кои се спроводливо поврзани секоја со по една електрода од секој паралелно поврзан кондензатор.



Сл.2.47. Паралелно поврзување на кондензатори

Секој од паралелно поврзаните кондензатори приклучен е на ист напон  $U$  кој одговара на напонот на изворот.

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

Количествата електрицитет на поединечните кондензатори се:

$$Q_1 = C_1 \cdot U$$

$$Q_2 = C_2 \cdot U$$

$$Q_3 = C_3 \cdot U$$

.....

$$Q_n = C_n \cdot U$$

.....

$$Q = C \cdot U$$

Вкупното количество електрицитет  $Q$  претставува збир од количествата електрицитет на поединечните кондензатори:

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

$$= C_1U + C_2U + C_3U + \dots + C_nU = (C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n) U$$

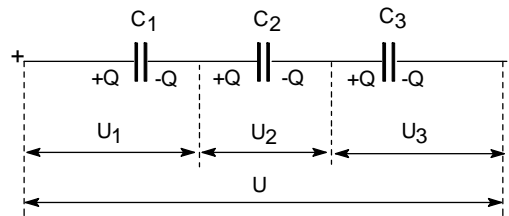
$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n = \sum_{i=1}^n C_i$$

Резултатниот капацитет на паралелно врзани **n** кондензатори е еднаков на збирот на капацитетите на поединечните кондензатори.

Ако  $C_1 = C_2 = C_3 = \dots = C_n$ , и ако постојат **n** кондензатори тогаш:  $C = n \cdot C_n$

▪ *Редно (сериско) поврзување на кондензатори*

Редното поврзување на кондензаторите се дефинира во однос на две точки, при што првата точка е поврзана со првата електрода на првиот кондензатор, а последната точка поврзана е со втората електрода на последниот кондензатор.



Сл.2.48. Редно (сериско) поврзување на кондензатори

Количествата електрицитет кај поединечните редно поврзани кондензатори се еднакви независно од нивната капацитативност.

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

Напоните на поединечните кондензатори се:

$$U_1 = Q / C_1$$

$$U_2 = Q / C_2$$

$$U_3 = Q / C_3$$

.....

$$U_n = Q / C_n$$

.....

$$U = Q / C$$

Збирот на напоните на поединечните кондензатори е еднаков на напонот на изворот.

$$U = \frac{Q}{C} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} + \dots + \frac{Q}{C_n}$$

$$U = \frac{Q}{C} = Q \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} \right)$$

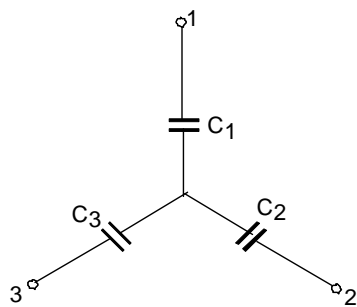
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$$

Реципрочната вредност на резултантниот капацитет на редно врзани  $n$  кондензатори е еднаква на збирот од реципрочните вредности на капацитетите на поединечните кондензатори.

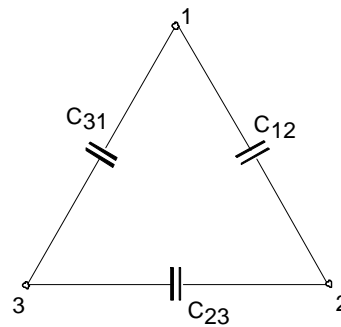
Ако  $C_1=C_2=C_3=\dots=C_n$ , и ако постојат редно врзани  $n$  кондензатори, тогаш:

$$C = \frac{C_n}{n}$$

- Кондензатори поврзани во звезда и во триаголник



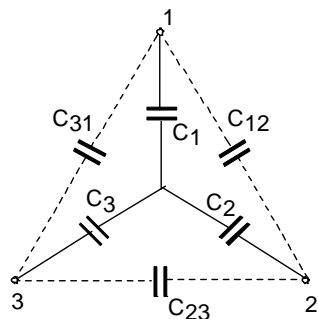
поврзување во звезда



поврзување во триаголник

Сл.2.49. Кондензатори поврзани во звезда и во триаголник

а) трансфигурација на звезда во триаголник



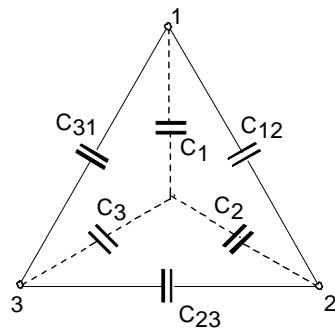
$$C_{12} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2 + C_3}$$

$$C_{23} = \frac{C_2 \cdot C_3}{C_1 + C_2 + C_3}$$

$$C_{31} = \frac{C_3 \cdot C_1}{C_1 + C_2 + C_3}$$



б) трансфигурација на триаголник во звезда



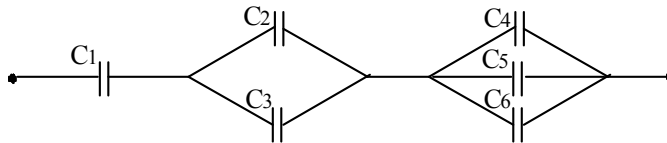
$$C_1 = C_{12} + C_{31} + \frac{C_{12} \cdot C_{31}}{C_{23}}$$

$$C_2 = C_{23} + C_{12} + \frac{C_{23} \cdot C_{12}}{C_{31}}$$

$$C_3 = C_{31} + C_{23} + \frac{C_{31} \cdot C_{23}}{C_{12}}$$

**Пример 1**

Група кондензатори со капацитети  $C_1 = C_3 = C_5 = 1 \mu\text{F}$  и  $C_2 = C_4 = C_6 = 2 \mu\text{F}$  поврзани се како на шемата. Да се определи вкупниот капацитет.



Решение:

$$C_{23} = C_2 + C_3 = 2 + 1 = 3 \mu\text{F}$$

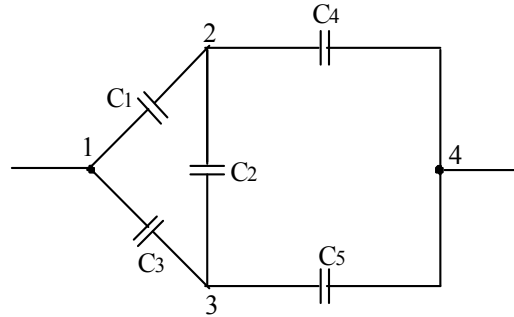
$$C_{456} = C_4 + C_5 + C_6 = 2 + 1 + 2 = 5 \mu\text{F}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_{23}} + \frac{1}{C_{456}} = \frac{C_{23}C_{456} + C_1C_{456} + C_1C_{23}}{C_1C_{23}C_{456}}$$

$$C = \frac{C_1C_{23}C_{456}}{C_{23}C_{456} + C_1C_{456} + C_1C_{23}} = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{3 \cdot 5 + 1 \cdot 5 + 1 \cdot 3} = 0,652 \mu\text{F}$$

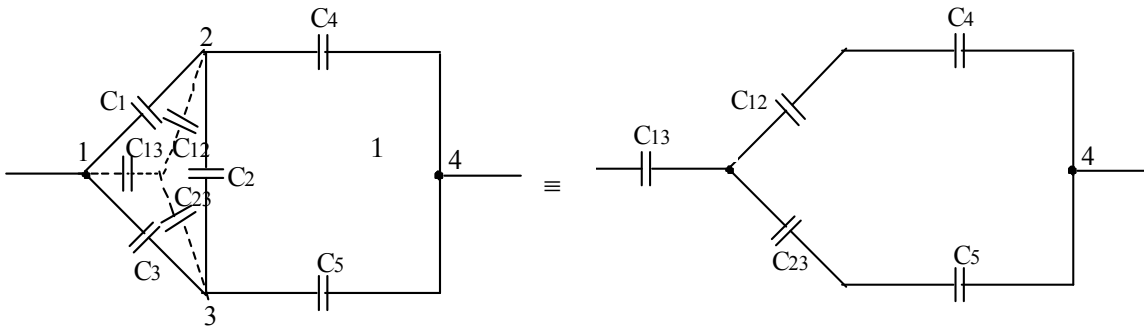
**Пример 2**

Пет кондензатори со капацитети:  $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = 10 \mu\text{F}$  се поврзани како на шемата. Да се определи резултантниот капацитет меѓу јазлите 1 и 4.



Решение:

Триаголникот со темиња 1, 2 и 3 се трансфигурира во звезда.



$$C_{13} = C_1 + C_3 + \frac{C_1 C_3}{C_2} = 20 + \frac{10}{100} = 30 \mu\text{F}$$

$$C_{12} = C_1 + C_2 + \frac{C_1 C_2}{C_3} = 30 \mu\text{F}$$

$$C_{23} = C_2 + C_3 + \frac{C_2 C_3}{C_1} = 30 \mu\text{F}$$

$$C_{124} = \frac{C_{12} C_4}{C_4 + C_{12}} = \frac{30 \cdot 10}{10 + 30} = 7,5 \mu\text{F}$$

$$C_{235} = \frac{C_{23} C_5}{C_5 + C_{23}} = \frac{30 \cdot 10}{10 + 30} = 7,5 \mu\text{F}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{13}} + \frac{1}{C_{124} + C_{235}} = \frac{1}{30} + \frac{1}{7,5 + 7,5}$$

$$C = \frac{30 \cdot 15}{15 + 30} = 10 \mu\text{F}$$

### 3. ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА

Електрична струја е насочено макроскопско движење на електрични полнежи.

За да се воспостави проток на електрична струја потребно е да:

- постои средина со голем број макроскопски слободно подвижни електрични полнежи,
- постои причина тие електрични полнежи да се движат во таа средина.

Електричната струја настанува како резултат на:

- насочено движење на слободните електрони низ металните спроводници,
- движење на позитивни и негативни јони во гасови и течности,
- движење на поголеми материјално набиени честички, односно наелектризирани молекулски групи.

#### *Причини за движење на електричните полнежи*

Причините за движење на слободните електрични полнежи може да бидат различни. Најважна и најчеста причина се силите на електричното поле. Електричната струја може да се јави и како резултат на движење на макроскопско наелектризирано тело.

Електричната струја во однос на причината за движење на електричните полнежи може да биде кондукциона или конвекциона струја.

Кондукционата струја, или струјата на спроводливост, се создава под дејство на електрично поле и карактеристично е мирувањето на средината во која се движат слободните носители на електрицитетот.

Конвекционата струја се создава како резултат на движењето на макроскопско наелектризираното тело.

#### *Средини со подвижни електрични полнежи*

Според способноста да спроведуваат електрична струја, материјалите при нормални услови може да бидат спроводници и изолатори. Ако се создадат соодветни услови, електричната струја може да се воспостави во сите средини, вклучувајќи разни видови цврсти и течни материјали, спроводници, изолатори, полупроводници, гасови, дури и вакуум.

При тоа, во различни средини, постојат различни носители на електрицитет кои причинуваат појава на електрична струја. Така, во цврстите тела, кај металните спроводници, слободно подвижни електрични полнежи се слободните електрони. Во течните материјали, како што се електролитите, но и кај гасовите, слободните носители на електрицитет се јоните. Во полупроводниците тоа се електроните и т.н. празнини (испразнети места на електроните во орбитите на атомите), при што празнините се однесуваат како позитивни електрични полнежи. Електрична струја може да постои и во вакуум, ако на погоден начин се обезбеди присуство, на пример, на електрони.

- Струја во спроводници

Во материјалите составени од атоми поврзани со метална врска (металите и нивните легури), слободните електрони од електронската обвивка лесно може да се стават во движење под дејство на електрично поле. При движењето тие наидуваат на сосема мал отпор на јоните во кристалната решетка. За овие материјали се вели дека се спроводници на електричната струја од прв ред.

- Струја во диелектрици (изолатори)

Изолатори или диелектрици се материјали каде атомите се поврзани со ковалентна врска. Поради непостоењето на слободни електрони при ниски температури, овие материјали се слабо спроводливи или воопшто неспроводливи. Со зголемување на температурата или под влијание на електрично поле нивната спроводливост се зголемува. Носители на електрични полнежи кај овие материјали се: слободни електрони и празнини, слободни јони и наелектризирани молекулски групи.

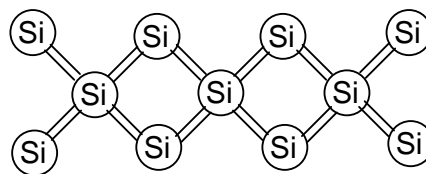
- Струја во полупроводници

Полупроводнички материјали се хемиски елементи или соединенија каде врската меѓу одделни атоми во кристалната решетка се остварува преку создавање на заеднички електронски парови, односно постои ковалентна врска. Полупроводниците кои се состојат од атоми само на еден елемент се нарекуваат сопствени полупроводници, а доколку постојат примеси од други елементи се нарекуваат примесни полупроводници.

Кај сопствените полупроводници при зголемена температура на атомите можна е делокализација на валентните електрони.

Кај примесните полупроводници со додавање на примеси се воведуваат нови енергетски нивоа со што се зголемува спроводливоста. Примесните полупроводници можат да бидат *n*-тип ако електроните се во поголем број носители на полнежи во однос на празнините, и обратно *p*-тип полупроводници.

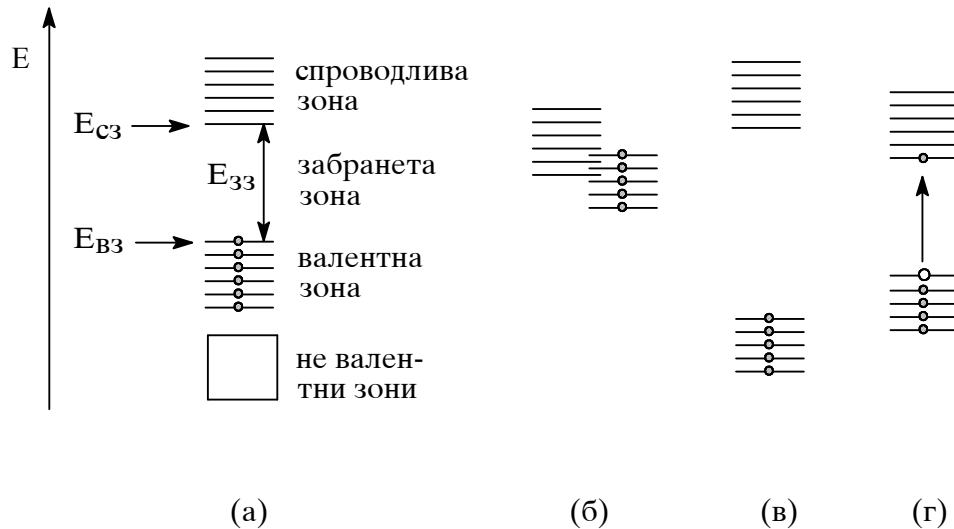
Типичен пример за *сопствени полупроводници* се: Si, Ge, Ga, As итн. каде врската помеѓу одделни атоми во кристалната решетка се остварува преку создавање на заеднички електронски парови, односно каде што постои ковалентна врска. Во такви атомски врски не постојат ниту слободни електрони ниту слободни јони кои би придонеле за спроводливост на електричната струја. Така на пример, кај монокристалите на Si, врската помеѓу два соседни атоми се остварува со помош на два електрони така што атомите на Si преку ковалентна врска градат кубна решетка.



Сл.3.1. Шематски приказ на хемиски врски помеѓу атомите на Si

Во однос на атомското јадро, електроните имаат определена енергија и се наоѓаат во определени енергетски нивоа. За разлика од молекулите кои формираат посебни молекуларни енергетски нивоа, кај полупроводниците тие нивоа се толку густы што формираат широки енергетски зони.

Од интерес на полупроводници е проучувањето само на енергијата на валентните електрони, нивната делокализација и премин во спроводливата зона, додека другите електронски нивоа на електроните кои се наоѓаат помеѓу валентната зона и атомското јадро немаат особено значење.



Сл.3.2. Шематски приказ на електронски енергетски нивоа кај цврстите материјали: (а) распоред на енергетски зони, (б) спроводници, (в) изолатори, (г) полупроводници;  $E_{c3}$  – енергија на долниот крај на спроводливата зона,  $E_{v3}$  – енергија на горниот крај на валентната зона,  $E_{z3} = E_{c3} - E_{v3}$  – енергија на забранетата зона,  $\otimes$  – електрони,  $\circ$  – празнини

Спроводливата енергетска зона е онаа зона каде што електроните можат слободно да се движат низ полупроводникот. Од електронската структура на некој материјал и од ширината на забранетата зона зависи дали тој материјал ќе биде спроводник, полупроводник или изолатор.

Кај металните спроводници валентната и спроводливата зона се препокриваат, не постои забранета зона, така што во спроводливата зона постојат делокализирани електрони кои слободно се движат низ кристалната решетка на металот. Затоа металите се добри спроводници.

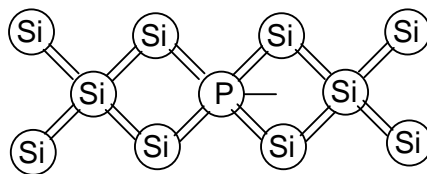
Енергетските зони кај изолаторите се доста раздвоени, валентните електрони се цврсто врзани за атомите во валентната зона, така што ширината на забранетата зона е доста голема. Сите електрони се валентно врзани и во спроводливата зона не постојат слободни електрони.

Кај полупроводниците енергетските зони се помалку раздвоени, така што при зголемена температура на атомите или некој друг вид надворешно зада-

дена енергија можна е делокализација на валентните електрони и нивно преминување во спроводливата зона. При овој премин во валентната зона остануваат испразнети места, т.н. празнини. Празнините во валентниот простор се однесуваат како носители на позитивни полнежи. Со преминување на електрон од соседен атом во празнината, се создава празнина во соседниот атом. На тој начин празнината се поместува кон соседен атом. Ова се одвива каскадно меѓу соседните атоми и се чини дека позитивното количество електрицитет во валентната зона се движи низ кристалот во спротивна насока од насоката на движењето на електроните. Празнините можат формално да се третираат како посебни честички носители на позитивно количество електрицитет. Земајќи во предвид дека и електроните и празнините учествуваат во пренос на струјата, кај полупроводниците, наместо движење на електрони, се користи терминот носители на полнежи.

Под *примесни или дојирни полупроводници* се подразбираат оние полупроводници кај кои во кристалната решетка на основниот материјал се вметнати атоми на некој друг елемент. Вметнувањето на такви елементи во основниот материјал се нарекува допирање. Со допирањето се воведуваат нови енергетски нивоа во забранетата зона така што екстремно се зголемува спроводливоста на сопствените полупроводници, кои генерално имаат мала спроводливост. Зголемувањето на спроводливоста ќе зависи од видот и концентрацијата на допирачкиот елемент. Допирачките елементи можат да бидат донорски или акцепторски. Полупроводниците кои се допирани со донори се нарекуваат *n-тип* полупроводници, а оние кои се допирани со акцептори *p-тип* полупроводници.

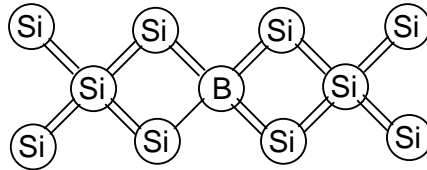
Како допирачки елементи кај *n* – тип полупроводниците обично се користат P, As, Sb и др., кои имаат по 5 валентни електрони.



Сл.3.3. Шематски приказ на хемиски врски кај *n*-тип полупроводници

Ако еден атом на Si се замени со еден атом на P, тогаш 4 електрони од P со електроните од околните Si атоми ќе градат ковалентни врски, додека еден електрон ќе остане слободен. Според тоа, донорските елементи јонизираат со премин на еден слободен електрон во спроводливата зона. Доколку на овој електрон му се додаде мала енергија, тој ќе премине во спроводливата зона и ќе учествува во преносот на струја. Според тоа, донорите ослободуваат електрони така што вкупниот број електрони во полупроводникот ќе биде поголем од бројот на празнините. Секој полупроводник кај кој електроните се во поголем број носители на количество електрицитет во однос на празнините се нарекува полупроводник од *n* – тип.

Како допирачки елементи кај  $p$ -типот полупроводници обично се користат В, Ga, In, Al и др, кои имаат по три валентни електрони. Ако еден атом на Si се замени со еден атом на В, тогаш 3 електрони од В со електроните од околните Si атоми ќе градат ковалентни врски, додека недостигот на еден електрон може да се смета како празнина или како вишок на еден позитивен електричен полнеж.



Сл.3.4. Шематски приказ на хемиски врски кај  $p$ -тип полупроводници

Енергетското ниво на празнината се нарекува акцепторско енергетско ниво. Електроните од валентната зона може да преминат на енергетското ниво на празнините ако им се даде мала енергија. Земајќи предвид дека допирачкиот елемент ги прифаќа електроните од валентната зона, тој се нарекува акцептор.

Празнините кои се создаваат во валентната зона условуваат вкупниот број на празнините во полупроводникот да е поголем од вкупниот број електрони. Секој полупроводник кај кој празнините се во поголем број носители на количество електрицитет во однос на електроните се нарекува полупроводник од  $p$ -тип.

- Струја во раствори и растопи на електролити

Електролитите се водени раствори на киселини, бази и соли што содржат јони кои спроведуваат електрична струја. При растворување на некој електролит во погоден растворувач, доаѓа до раскинување на врските помеѓу јоните во кристалната решетка. Така добиените растопи или раствори се јонско спроводливи и се нарекуваат спроводници од втор ред.

- Електрична струја во вакуум

Електричната струја во вакуум се состои само од флукс на електрони кои преминуваат од еден метален спроводник на друг, односно од една на друга електрода. За да може да дојде до струење на електроните низ вакуум, потребно е да се создадат услови за емисија на електрони од катода кои потоа ги привлекува позитивно наелектризираната електрода односно анода. Движењето на електроните кон анодата е во вид на млаз.

- Електрична струја во гасови

Гасовите заштитени од јонизирачко зрачење се одлични изолатори. За да стане некој гас електрично спроводлив, во него мора да се создадат слободни носители на електрични полнежи кои настануваат со различни

јонизациски процеси, со меѓусебна интеракција на возбудените атоми и молекули или по пат на јонизација со зрачење.

- Електрична струја во плазма

Плазма се нарекува материјата чии честички се во голема мера или потполно јонизирани. Концентрацијата на електроните и негативните јони во плазмата е еднаква на концентрацијата на позитивните јони, па резултантниот електричен набој е еднаков на нула. Таа е електрички добро спроводлива и се добива при силно загревање на некој медиум низ кој проаѓа струја. Плазма постои кај електричните лакови и кај гасните светилки. Се користи кај магнетохидродинамичките генератори.

### Ефекти на електричната струја

Основни ефекти на електричната струја се: топлотен, хемиски и магнетен ефект.

- Топлотниот ефект на електричната струја е резултат на физичката појава на загревањето на спроводниците кога низ нив преминува електрична струја. Оваа појава е резултат на судирот на електричните полнежи со честичките на материјата, при што, нивната енергија на движење се трансформира во топлина.
- Хемискиот ефект на електричната струја се користи кај електрохемиските процеси, а е резултат на движењето на јоните и нивното насобирање и неутрализација на самите електроди. Хемискиот ефект се применува кај електролизата, при полнење на акумулатори и др.
- Магнетните ефекти на електричната струја се резултат на создавање на магнетно поле околу спроводникот низ кој протекува електричната струја. Магнетните ефекти на електричната струја овозможуваат работата на генераторите, електромоторите, трансформаторите и др.

Други ефекти на електричната струја се: светлосен и физиолошки ефект.

- Светлосниот ефект на електричната струја се јавува во некои случаи кога електричната струја предизвикува појава на светлина како резултат на топлотниот ефект кај спроводниците, или како последица на промена на енергетските нивоа на одделни електрони во самите атоми на материјата, при премин на струјата во плазма, или кај некои полупроводници.
- Физиолошките ефекти на електричната струја се јавуваат при преминот на струјата низ живите организми при што се случуваат хемиски и топлотни ефекти. Овие ефекти имаат корисна примена во медицината, меѓутоа може да имаат и несакани дејства.



### 3.1. ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА ВО МЕТАЛНИ СПРОВОДНИЦИ

Електричната струја во металните спроводници настанува како резултат на насочено движење на слободните електрони.

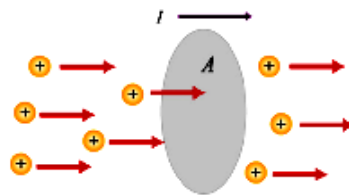
Кај металите привлечната сила која ги држи електроните околу јадрото е мала така што валентните електрони лесно се ослободуваат од врската со атомот и тогаш настануваат слободните електрони.

#### Насока на електрична струја

Ако насоката на електричната струја не се менува со времето станува збор за еднонасочна струја, а ако насоката периодично се променува струјата е наизменична.

Струјата е еднонасочна и постојана (стационарна) ако во текот на времето јачината на струјата останува непроменета, а ако пак насоката е иста, а јачината се менува струјата е еднонасочна и променлива.

Референтна насока на струјата е насоката на движење на позитивните електрични полнежи.

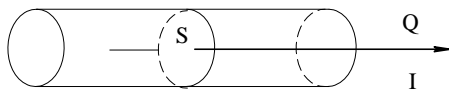


Сл.3.5. Насока на електричната струја

Во металните спроводници, усвоената насока на струјата е спротивна на реалното движење на негативно наелектризираните електрони.

#### Јачина на електрична струја

Интензитетот или јачината на струја е скаларна големина, која опишува движење на електрични полнежи низ некоја макроскопска површина.



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

$I$  [A] – јачина на електричната струја

$Q$  [C] – количество електрицитет

$t$  [s] – време

Сл.3.6. Јачина на електричната струја

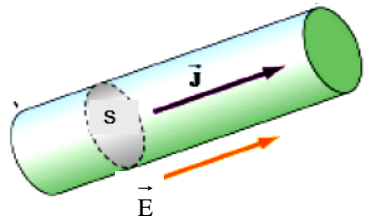
Јачината на електричната струја се дефинира со количеството електрицитет што протекнува низ пресекот на даден спроводник за единица време.

Единица за јачина на електрична струја е ампер.

**Ампер (А)** е јачина на постојана електрична струја која проаѓајќи меѓу два рамни, паралелни и неизмерно долги спроводници со занемарливо мал кружен пресек, оддалечени еден од друг 1 метар и сместени во вакуум, причинува сила помеѓу нив од  $2 \cdot 10^{-7}$  N на метар должина.

### Густина на струја

Протокот на електричните полнежи во која било точка во материјалот има иста насока со векторот на јачината на електричното поле во таа точка и се изразува со вектор на густина на струја  $\vec{j}$ .



Сл.3.7. Густина на електричната струја

Доколку векторот на густината на струјата е еднаков по интензитет и насока по целата површина  $S$ , и ако површината е рамна и нормална на тој вектор, тогаш:

$$j = \frac{I}{S} \left[ \frac{A}{m^2} \right]$$

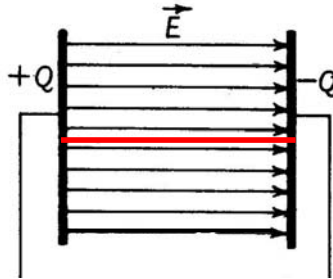
### 3.1.1. СТАЦИОНАРНА ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА

За да се воспостави стационарна електрична струја во металните спроводници, неопходно е да постои електрично поле во внатрешноста на спроводникот. Насоченото макроскопско движење на слободните електрични полнежи во внатрешноста на спроводникот настанува под дејство на силите на електричното поле. Електричната струја кај металните спроводници претставува насочено движење на слободните електрони низ спроводникот.

Ако со спроводлива жица се поврзат електродите на плочест кондензатор, кои се наелектризирани со еднакво количество електрицитет а со спротивен предзнак, тогаш ќе се наруши електростатичката рамнотежа. Низ спроводливата жица ќе се воспостави електрична струја под дејство на силите на електричното поле кои ќе предизвикаат насочено движење на вишокот електрони

од негативната кон позитивно наелектризираната плоча на кондензаторот. Резултатот од овој процес е неутрализација на вишокот на електрични полнежи во кондензаторот и исчезнување на електричното поле.

Процесот на прераспределба на електрични полнежи во спроводлив систем трае екстремно кратко време при што се намалува вишокот на електрични полнежи на електродите од кондензаторот, а со тоа се намалува и јачината на електричното поле меѓу нив. Со намалување на интензитетот на електричното поле се намалува и силата која ги придвижува електричните полнежи низ металниот спроводник, па струјата во тоа кратко време, додека постои, е временски променлива.

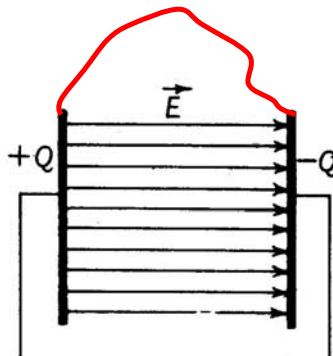


Сл.3.8. Плочест кондензатор чии електроди се поврзани со спроводлива жица поставена паралелно на електричните силиви линии

Електричните силиви линии помеѓу електродите на плочестиот кондензатор кои се поврзани со спроводлива жица, поставена паралелно на линиите на хомогеното електрично поле, точно го следат обликот на спроводникот и тие ги имаат потребните карактеристики на стационарно електрично поле кое одржува стационарна струја.

Меѓутоа, електричното поле, предизвикано од произволната распределба на статички електричните полнежи, не може да одржува постојана и временски непроменлива, односно стационарна струја.

Спроводникот помеѓу електродите на кондензаторот може да биде спроводлива жица со голема должина, свиткана во произволен облик, и тоа во простор надвор од електродите на кондензаторот, каде што не постои електрично поле создадено од електричните полнежи на електродите (сл.3.9)



Сл.3.9. Плочест кондензатор чии електроди се поврзани со спроводлива жица поставена произволно надвор од кондензаторот

И во овој случај, низ спроводливата жица се воспоставува краткотрајна електрична струја што значи дека силите на хомогеното електрично поле помеѓу плочите на кондензаторот не се причина за насоченото движење на електричните полнежи низ спроводникот, односно електричните полнежи на електродите од кондензаторот не се причина за воспоставување на стационарна електрична струја.

Стационарната електрична струја се јавува како резултат на распределбата на електричните полнежи на површината на металниот спроводник.

Површинската распределба на електричните полнежи одржува стационарно електрично поле во внатрешноста на спроводникот.

Електричните сили линии на стационарното електрично поле се простираат низ спроводникот и го следат неговиот облик.

Извор на стационарно поле може да биде и електричен генератор како дел од затворено струјно коло, кој ја испорачува потребната енергија за да се одржи непроменета потенцијалната разлика помеѓу точките на спроводникот во кој се воспоставува стационарна струја.

Стационарната струја претставува насочено движење на слободните електрони низ металните спроводници. Металите како, на пример, бакарот, алуминиумот, среброт и златото се добри спроводници на електричната струја и спаѓаат во групата на елементи кои имаат еден или два електрони во надворешната електронска обвивка. Овие електрони можат многу лесно да се отргнат од атомите и да станат слободни електрони. Кога атомот ќе изгуби еден или повеќе електрони, станува позитивен јон. Овие позитивни јони во металите се дел на кристалната структура на металот. Слободните електрони во металите се движат низ кристалната структура и во отсуство на надворешно електрично поле нивното движење не е насочено. Под дејство на надворешно електрично поле, врз слободните електрони дејствува сила која ќе ги движи насочено. За атомите кои изгубиле електрони од надворешната електронска обвивка, на местото на кое претходно бил електронот, се создава испразнето место, т.н. празнина. Под дејство на надворешно електрично поле, движењето на слободните електрони е од еден атом до друг, при што електронот преминува низ празнините во електронските обвивки на соседните атоми. Движењето на електричните полнежи кај металните спроводници може да се замисли како слободните електрони да се неподвижни, а празнините како да се движат во спротивна насока.

Кога е воспоставена електрична струја, кај металните спроводници не може да дојде до појава на вишок електрични полнежи бидејќи одбивните сили го разнесуваат вишокот електрични полнежи за многу кратко време на меѓусебно најоддалечените растојанија на површината на спроводникот. Одбивните сили кои ги раздвојуваат електричните полнежи се многу поголеми од оние што го создаваат насоченото движење на слободните електрони.

### 3.2. ЕЛЕКТРИЧНА ОТПОРНОСТ

Особините на материјалите да се спротивставуваат на протокот на струјата се нарекува електрична отпорност на материјалот.

$$R[\Omega] = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

$R$  [ $\Omega$ ] – електрична отпорност

$L$  [m] – должина на спроводникот

$S$  [ $\text{mm}^2$ ] – напречен пресек на спроводникот

$\rho \left[ \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right]$  – специфична отпорност

Електричната отпорност на даден спроводник зависи правопрпорционално од должината на спроводникот и обратнопрпорционално од напречниот пресек на спроводникот. Меѓутоа, електричната отпорност зависи и од видот на материјалот од кој е направен спроводникот.

Карактеристиката на различните материјали да се спротивставуваат на електричната струја различно се нарекува специфична отпорност на материјалите.

Под специфичен електричен отпор се подразбира отпор што го дава спроводникот во форма на коцка со раб од 1 cm (за спроводници од втор ред) или кружен спроводник со должина од 1 метар и површина на напречен пресек од  $1 \text{ mm}^2$  (спроводници од прв ред).

Единица за електрична отпорност е **ом**.

**1  $\Omega$**  се дефинира како електричен отпор помеѓу две точки на жичен спроводник, кога при протекување на струја со јачина од 1 ампер низ него, помеѓу тие две точки постои напон од 1 волт.

Реципрочната вредност на електричната отпорност претставува електрична спроводливост.

Единица за електрична спроводливост е сименс.

$$G[S] = \frac{1}{R} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{S}{L} = \lambda \frac{S}{L}$$

$G$  [S] – електрична спроводливост

$\lambda \left[ \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \right]$  – специфична спроводливост

Според вредноста на специфичниот отпор, материјалите се поделени во три основни групи:

- *спроводници* кои имаат мала специфична отпорност и добро ја спроведуваат електричната струја (метали и електролити),
- *полупроводници* кои имаат значително поголема специфична отпорност од спроводниците (селен, силициум, германиум и др.),
- *изолатори* кои имаат многу голема специфична отпорност (порцелан, стакло, пластични маси и др.).

Специфичните отпорности на некои метали при температура од 20°C се дадени во таб.3.

Таб.3. Специфични отпорности на некои метали

<i>метал</i>	<i>специфична отпорност</i>
сребро	0,016
бакар	0,0175
алуминиум	0,029
цинк	0,061
никел	0,090
железо	0,10-0,14
челик	0,10-0,20
никелин	0,36-0,40
константан	0,49

Од таб.3 се гледа дека среброто е најдобар спроводник, бидејќи има најмала специфична отпорност. Меѓутоа, неговата примена како спроводник на електрична струја е ограничена поради високата цена на овој метал. По среброто најдобар спроводник е бакарот кој наоѓа голема примена во електротехниката. Алуминиумот исто така е добар спроводник, меѓутоа не и челикот. Никелинот има голема специфична отпорност и како таков се употребува за изработка на посебни електрични отпорници (кај електричните печки, греалките итн.).

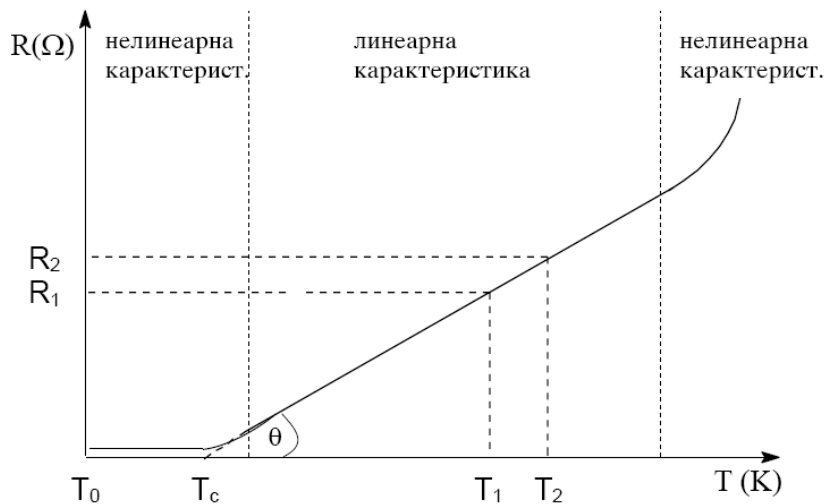
### 3.2.1. Зависност на отпорноста од температурата

Електричната отпорност се менува со промена на температурата, како резултат на промената на специфичната отпорност на материјалот од кој е изработен спроводникот.

Во зависност од влијанието на промената на температурата врз промената на специфичната отпорност, материјалите се поделени на три основни групи: материјали кај кои специфичната отпорност расте со порастот на температурата (бакар, челик и многу други метали), материјали кај кои специфичната отпорност речиси не се менува со промена на температурата (константан), и материјали кај кои со порастот на температурата се намалува специфичната отпорност (електролити, јаглен, стакло и др.), па така:

- Кај спроводниците од прв ред, со зголемување на температурата доаѓа до зголемување на отпорноста бидејќи при повисоки температури се зголемува вибрационата енергија на атомите во кристалната решетка и веројатноста слободните електрони да се судрат со несиметричните атоми е поголема.
- Кај спроводниците од втор ред постои обратна појава, со зголемување на температурата, отпорноста се намалува бидејќи при повисоки температури некои врзани електрони можат да се ослободат и да бидат преносители на електрична енергија.

На сл. 3.10 графички е претставена зависноста на отпорноста на металните спроводници со промена на температурата. Во широк температурен интервал отпорноста приближно линеарно се менува со промена на температурата. Кога линеарното опаѓање на отпорноста со опаѓањето на температурата би продолжило континуирано, на некоја температура  $T_c$  би довело до вредност на отпорноста нула. Температурата  $T_c$  претставува очекувана температура на нулта отпорност, се нарекува критична температура и има поголема вредност од апсолутната нула. Отпорноста при критичната температура не постигнува вредност нула, бидејќи на температура нешто поголема од  $T_c$ , настанува отстапување од линеарната зависност при што отпорноста задржува конечна вредност малку поголема од нула сè до вредноста на апсолутната нула  $T_0$ .



Сл.3.10. Зависност на отпорот од температурата кај спроводници од прв ред

$T_0$  [K] – температура на апсолутна нула

$T_c$  [K] – критична температура

$T_1$  [K] – референтна температура

$R_1$  [Ω] – отпор при температура  $T_1$  [K]

$R_2$  [Ω] – отпор при температура  $T_2$  [K]

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{R_2}{T_2 - T_c} = \frac{R_1}{T_1 - T_c}$$

$$R_2 = R_1 \frac{T_2 - T_c}{T_1 - T_c}$$

$$T_2 - T_c = T_1 - T_c + T_2 - T_1$$

$$R_2 = R_1 \frac{T_1 - T_c + T_2 - T_1}{T_1 - T_c} = R_1 \left( \frac{T_1 - T_c}{T_1 - T_c} + \frac{T_2 - T_1}{T_1 - T_c} \right)$$

$$\frac{1}{T_1 - T_c} = \alpha$$

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(T_2 - T_1)] = R_1 (1 + \alpha \Delta T)$$

Горната равенка претставува равенка на промената на отпорот на спроводникот во зависност од температурата:

$\alpha \left[ \frac{1}{K} \right]$  – температурен коефициент

Температурниот коефициент ја покажува промената на електричната отпорност при промена на температурата за 1К.

Таб.5. Температурни коефициенти на некои поважни метали

метал	температурен коефициент
бакар	0,004
алуминиум	0,004
железо и челик	0,005
никелин	0,00009
константан	$\approx 0$

Од таб.5. може да се види дека температурниот коефициент на бакарот е 0,004 што покажува дека при зголемување на температурата за 1К, отпорноста на бакарниот спроводник се зголемува за 0,4%.

Температурниот коефициент е позитивен за металните спроводници, а негативен за полупроводниците, диелектриците и електролитите.

При пониски температури, отпорот на металниот спроводник станува сè помал, а во близина на апсолутната нула (-273,15°C) би требало потполно да исчезне.

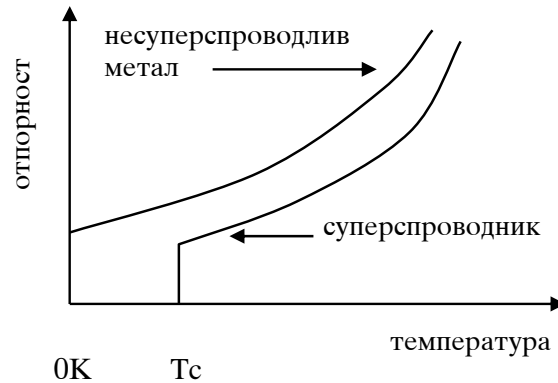
Оваа појава се нарекува суперспроводливост.

Таб.6. Критични температури на некои суперспроводници

суперспроводник	критична температура
олово (Pb)	7,196 К
лантан (La)	4,88 К
тантал (Ta)	4,47 К
жива (Hg)	4,15 К
алуминиум (Al)	1,175 К
молибден (Mo)	0,915 К
цинк (Zn)	0,85 К
циркониум (Zr)	0,61 К
кадмиум (Cd)	0,517 К
титан (Ti)	0,40 К
берилиум (Be)	0,023 К
ванадиум (W)	0,0154 К
родиум (Rh)	0,000325 К



Суперспроводниците се група материјали кои при критични температури наплно ја губат електричната отпорност и се идеални спроводници.



Сл.3.11. Зависност на отпорот од температурата кај суперспроводник и несуперспроводлив метал

Карактеристичен е материјалот константан, кај кој двата спротивни процеси, зголемувањето на вибрациите на атомите со порастот на температурата што ја зголемува отпорноста, се поништува со зголемувањето на бројот на слободни електрони што ја смалува отпорноста при што отпорноста му е приближно константна со промена на температурата, што резултира со температурен коефициент приближно еднаков на нула.

*Примена на суперспроводливи материјали:*

- магнетна резонанција и магнетна енцефалографија
- безжични филтри за сигнали
- за изработка на електрични постројки со многу мали димензии особено за вселенски и воени истражувања
- при пренос на електрична енергија
- за изработка на суперспроводливи компјутери кои би биле поефикасни, побрзи и со многу помали димензии
- при транспорт, за изработка на автомобили и возови кои би се движеле без тркала и би лебделе над суперспроводливи патишта и шини со брзини поголеми од 500 km/h

### **Пример 1**

Да се определи отпорноста на бакарна жица со пречник 1,8 mm и должина 1 km ако е познато дека специфичната отпорност на бакарната жица изнесува 0,0175 [ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ].

*Решение:*

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,8^2}{4} = 2,5 [\text{mm}^2] \text{ – напречен пресек на спроводникот}$$

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} = 0,0175 \cdot \frac{1000}{2,5} = 7 [\Omega]$$

**Пример 2**

Да се определи отпорот на раствор од  $\text{H}_2\text{SO}_4$  при температура од  $40^\circ\text{C}$ , ако неговата вредност при температура од  $20^\circ\text{C}$  изнесува  $0,5 \Omega$ . Познато е дека температурниот коефициент е  $-0,015 \text{ 1}^\circ\text{C}$ .

Решение:

$$R_2 = R_1 + R_1 \cdot \alpha \cdot (t_2 - t_1) = R_1 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t) = 0,5 [1 + (-0,015) \cdot (40 - 20)] = 0,35 [\Omega]$$

**3.2.2. Омов закон**

Омовиот закон ја дава зависноста на јачината на струјата низ спроводникот во зависност од отпорот при константна температура.

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

$R[\Omega]$  – електричен отпор

$U[\text{V}]$  – напон

$I[\text{A}]$  – јачина на електрична струја

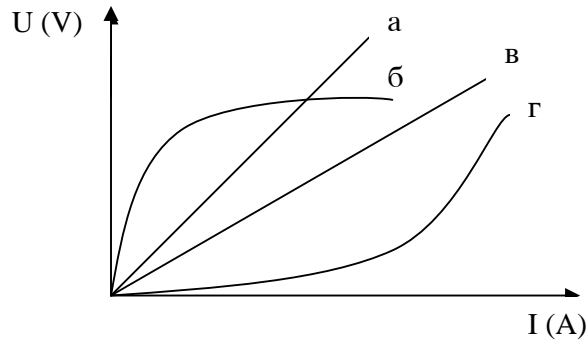
Отпор од  $1\Omega$  има спроводник низ кој под дејство на напон од  $1\text{V}$ , протекнува струја со јачина  $1\text{A}$ .

Омовиот закон важи за елементи кои имаат линеарна напонско-струјна карактеристика. Напонско-струјната карактеристика на некој спроводник или општо на некој дел или елемент на електричното струјно коло покажува како се менува јачината на струјата во зависност од напонот кој е донесен на еден таков елемент. При константна температура, ако отпорот на спроводникот не се менува, напонско-струјната карактеристика е права, а при промена на отпорот, напонско-струјната карактеристика претставува крива линија.

Елементите кај кои напонско-струјната карактеристика е права линија се нарекуваат линеарни елементи, а оние кај кои зависноста не е праволиниска се нарекуваат нелинеарни елементи.

$$U = R \cdot I = \rho \frac{L}{S} \cdot I \Rightarrow \frac{U}{L} = \rho \frac{I}{S}$$

$$\vec{E} = \rho \vec{j}$$



Сл.3.12. Напонско-струјни карактеристики на: (а) и (в) – линеарни елементи ;  
(б) и (г) – нелинеарни елементи

### 3.2.3. Моќност на електрична струја

Брзината на извршувањето работа или брзината на трансформација на енергијата се нарекува моќност. За произволен елемент на електричното коло, брзината на вршење на работата, т.е моќноста е:

$$P = \frac{W}{t} = U \cdot I$$

$P$  [W] – моќност на електричната енергија

Ако усвоиме дека набљудуваниот елемент е спроводник (или отпорник) тогаш целата работа на силите на електричното поле се претвора во топлинска енергија (Џулов ефект)

$$W = UIt$$

Така што моќноста со која работата на силите на полето се претвора во топлинска енергија, еднаква е на моќноста на силите на електричното поле.

Ако спроводникот е линеарен, моќноста е:

$$P = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

Ако струјата и отпорноста се непроменливи со времето, врз основа на Омовиот закон, работата и моќноста можат да се изразат и со помош на отпорот на спроводникот разгледуван како потрошувач:

$$W[J] = Q = P \cdot t = U \cdot I \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t - \text{Џул-Ленцов закон}$$

**Пример 1**

Електрична греалка вклучена е шест часа дневно на мрежа со напон 220 V. Да се пресметаат: моќноста на греалката, отпорноста на спиралата и количеството на топлина за еден ден, ако јачината на струјата е 2,27 А.

Решение:

$$P=U \cdot I=220 \cdot 2,27=500 \text{ [W]}$$

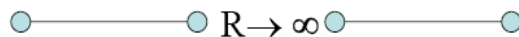
$$R = \frac{U}{I} = \frac{U^2}{P} = \frac{220}{2,27} = \frac{220^2}{500} = 97 \text{ [\Omega]}$$

$$Q=W=I^2 \cdot R \cdot t=2,27^2 \cdot 97 \cdot 6 \cdot 3600=10800 \cdot 10^3 \text{ [Ws=J]}$$

**3.2.4. Празен од и кратко поврзување (краток спој) на изворот**

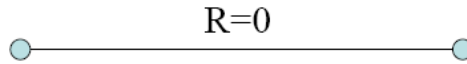
Под претпоставка дека напонот на некој извор е константен кога има приклучен потрошувач на половите на изворот, тогаш јачината на струјата зависи директно од отпорот на потрошувачот. Но во многу случаи, при проучувањето на некои појави, многу се важни две крајни (гранични) состојби на изворот: празен од (случај на отворен струен круг) и кратко поврзување (краток спој).

- Во случај на отворен струен круг или празен од:  $R = \infty$ , и поради отвореноста на струјното коло  $I = U/R=0$ . Оваа состојба се нарекува уште и неоптоварена состојба на изворот на електричната струја.



Отворениот струен круг највеќе се користи во електрохемијата како метода при определување на потенцијалот на некоја електрода, како и механизмите и кинетиката на некои од реакциите кои се јавуваат со време, до воспоставувањето на некоја стационарна состојба на реакцијата врз електродата во некој електрохемиски елемент.

- Кратко поврзување или краток спој настанува ако струјното коло се затвори исклучиво преку приклучниците на половите од изворот, без притоа да постои некој отпор помеѓу нив  $R=0$ . Во таков случај, и напонот на приклучниците е еднаков на нула бидејќи и двете приклучници се на ист потенцијал. Теоретски струјата би требало да има бесконечен интензитет, односно  $I= U/R=\infty$ .



Имајќи го предвид фактот дека секој извор има некој внатрешен отпор, јачината на струјата нема да биде бесконечна, туку максимална што изворот може да ја произведува. Сличен случај постои кај електричните инсталации, кога поради оштетување на изолацијата, доаѓа до директен контакт помеѓу металните делови на спроводниците кои се наоѓаат под одреден напон и струјата е значително појака од дозволената за таквата инсталација. При тоа може да дојде до прекумерно загревање на спроводниците, со појава на оштетувања, хаварии и пожари со поголеми размери. Заштита се постигнува со примена на осигурувачи кои при определена јачина на струја, во зависност од изведбата на осигурувачот, или автоматски избива или доаѓа до топење на неговото заштитно влакно.

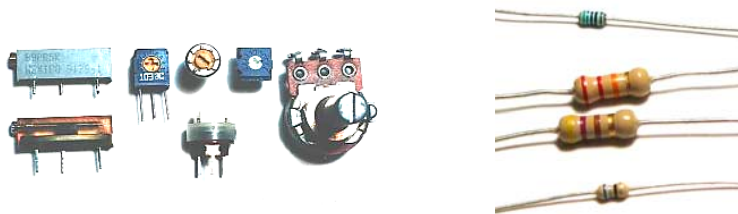
### 3.3. ВИДОВИ ОТПОРНИЦИ

Отпорникот претставува електричен приемник во кој се одвива само појава на претворување на електричната енергија во топлинска.

Отпорниците се специјално конструирани елементи така што меѓу два добро спроводливи приклучоци остваруваат определена отпорност.

Отпорниците може да бидат фиксни и променливи.

Променливите отпорници се со променлив отпор и се нарекуваат потенциостати или реостати.



Сл.3.13. Различни видови отпорници

Други видови отпорници се:

- Метал оксиден варистор (MOV) кој го менува својот отпор со промена на напонот. Работи како прекинувач и најчесто се користи како:
  - заштита на енергетските склопови од краток спој,
  - заштита од одводни атмосферски празнења на уличните светилки,
  - заштитен елемент за ограничување на порастот на струјата во индуктивните кола.

- Термистор е температурно зависен отпорник. Во зависност од предзнакот на температурниот коефициент, постојат два вида термистори:
  - PTC (Positive Temperature Coefficient). Кај овој вид отпорници, отпорот се зголемува со порастот на температурата. Наоѓаат примена кај телевизиските приемници како заштита од краткотраен струен удар низ намотката кога приемникот е вклучен.
  - NTC (Negative Temperature Coefficient). Кај овој вид отпорници, отпорот се намалува со порастот на температурата. Се користат кај едноставните температурни детектори и кај мерните инструменти.

#### Изработка на отпорници:

Отпорниците најчесто се изработуваат од метална жица намотана на керамика, пластика или стаклено влакно. Ондавор се заштитуваат со боја, пластика или друг изолаторски материјал.

#### Ознаки кај отпорници:

- Цилиндричните отпорници најчесто се означуваат со обоени прстени поставени околу телото на отпорникот за означување на вредноста на отпорот. Идентификацијата со 4 прстени во боја е најчесто употребуван начин за кодирање на вредноста на сите отпорници. Идентификацијата со 5 и повеќе бои се користи за отпорници со помали толеранции (0,1 до 1%). Последниот прстен секогаш ја дава толеранцијата, претпоследниот претставува фактор на множење, а првите прстени ја даваат вредноста на отпорот во оми.
- Другите видови отпорници најчесто се означуваат нумерички.

Таб.5. Идентификација на отпорниците со обоени прстени

боја	1 прстен	2 прстен	3 прстен (множител)	4 прстен (толеранција)	температур. коефициент
црна	0	0	$\times 10^0$		
кафена	1	1	$\times 10^1$	$\pm 1\%$ (F)	100 ppm
црвена	2	2	$\times 10^2$	$\pm 2\%$ (G)	50 ppm
порокал.	3	3	$\times 10^3$		15 ppm
жолта	4	4	$\times 10^4$		25 ppm
зелена	5	5	$\times 10^5$	$\pm 0,5\%$ (D)	
плава	6	6	$\times 10^6$	$\pm 0,25\%$ (C)	
виолетова	7	7	$\times 10^7$	$\pm 0,1\%$ (B)	
сива	8	8	$\times 10^8$	$\pm 0,05\%$ (A)	
бела	9	9	$\times 10^9$		
златна			$\times 0,1$	$\pm 5\%$ (J)	
сребрена			$\times 0,01$	$\pm 10\%$ (K)	
безбојна				$\pm 20\%$ (M)	

**Пример 1**



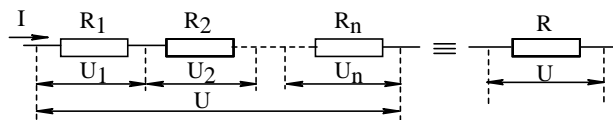
- 1 прстен: жолта = 4
- 2 прстен: виолетова = 7
- 3 прстен: црвена = x 100
- 4 прстен: златна = ± 5%

$$R = 47 \times 100 = 4700 \Omega = \mathbf{4,7 \text{ k}\Omega} (\pm 5\%) = 4,465 \div 4,935 \text{ k}\Omega$$

**1.3.1. Поврзување на отпорници**

Во електричните кола отпорниците често се поврзуваат во групи и тоа: редно (сериски), паралелно или комбинирано. Овие групи секогаш може да се заменат со еквивалентен отпорник R чија отпорност се нарекува еквивалентна или резултантна отпорност.

- Редно (сериско) поврзување на отпорниците



Сл.3.14. Редно поврзување на отпорниците

Јачината на струјата која протекнува низ редно поврзаните отпорници е со еднаков интензитет.

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

Напонот на краевите од секој отпорник се определува по Омовиот закон.

$$\begin{aligned} U_1 &= R_1 \cdot I \\ U_2 &= R_2 \cdot I \\ U_3 &= R_3 \cdot I \\ &\dots\dots\dots \\ U_n &= R_n \cdot I \end{aligned}$$

Вкупниот напон на редно поврзаните отпорници е еднаков на збирот од напоните на поединечните отпорници.

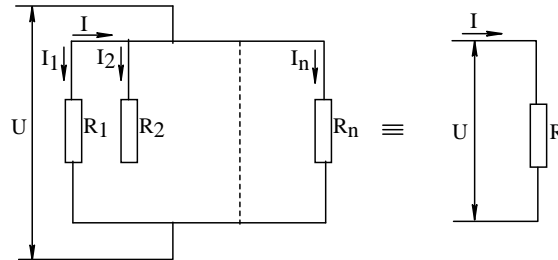
$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$$

$$RI = (R_1I + R_2I + R_3I + \dots + R_nI) / I$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i$$

Еквивалентната отпорност на редно врзаните  $n$  отпорници е еднаква на збирот од отпорите на поединечните отпорници.

- Паралелно поврзување на отпорниците



Сл.3.15. Паралелно поврзување на отпорниците

При паралелна врска секој од отпорниците е приклучен на ист напон  $U$ .

Вкупната струја е еднаква на збирот на струите низ поединечните отпорници.

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

$$I_1 = U / R_1$$

$$I_2 = U / R_2$$

$$\dots\dots\dots$$

$$I_n = U / R_n$$

$$\frac{U}{R} = \left( \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \dots + \frac{U}{R_n} \right) / U$$

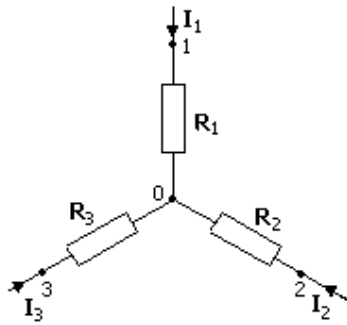
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

Реципрочната вредност на еквивалентната отпорност на паралелно врзаните  $n$  отпорници е еднаква на збирот од реципрочните вредности на отпорите на поединечните отпорници.

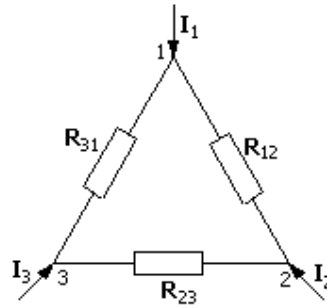
Треба да се има предвид дека при паралелното поврзување на отпорниците (потрошувачите на електрична енергија), тие се меѓусебно наплно независни. Исклучувањето на еден или неколку такви потрошувачи од електричното коло не влијае на работата на потрошувачите кои останале вклучени. Ова не е случај со потрошувачите кои би биле редно врзани, зошто исклучувањето на еден потрошувач од колото значи исклучување и на сите други. Затоа, електричните светилки, електромоторите и други потрошувачи на електрична енергија најчесто се поврзуваат паралелно.



- Отпорници поврзани во звезда и во триаголник



поврзување во звезда



поврзување во триаголник

Сл.3.16. Отпорници поврзани во звезда и во триаголник

- а) трансфигурација на звезда во триаголник

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

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

$$R_{31} = R_1 + R_3 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2}$$

- б) трансфигурација на триаголник во звезда

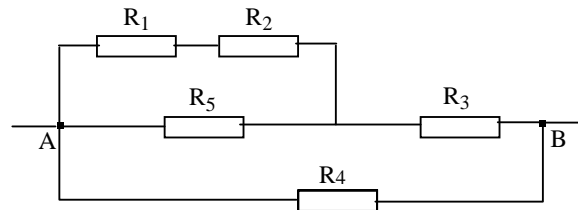
$$R_1 = \frac{R_{31} \cdot R_{12}}{R_{31} + R_{12} + R_{23}}$$

$$R_2 = \frac{R_{12} \cdot R_{23}}{R_{31} + R_{12} + R_{23}}$$

$$R_3 = \frac{R_{23} \cdot R_{31}}{R_{31} + R_{12} + R_{23}}$$

**Пример 1**

Да се определи вкупниот отпор  $R_{AB}$  на група отпорници поврзани како на шемата ако вредностите на поединечните отпори изнесуваат:  $R_1=1 \Omega$ ,  $R_2=2 \Omega$ ,  $R_3=0,25 \Omega$ ,  $R_4=4 \Omega$  и  $R_5=1 \Omega$ .



*Решение:*

$$R_{12}=R_1+R_2=1+2=3 [\Omega]$$

$$R_{125} = \frac{R_{12} \cdot R_5}{R_5 + R_{12}} = \frac{3 \cdot 1}{1 + 3} = \frac{3}{4} = 0,75 [\Omega]$$

$$R_{1253} = R_{125} + R_3 = 0,75 + 0,25 = 1 [\Omega]$$

$$R_{1253,4} = R_{AB} = \frac{R_{1253} \cdot R_4}{R_4 + R_{1253}} = \frac{1 \cdot 4}{4 + 1} = 0,8 [\Omega]$$

## 4. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКИ СИСТЕМИ

Електроенергетските системи вклучуваат: дистрибутивни електроенергетски мрежи, водови, трансформатори и други електроенергетски елементи кои заедно имаат задача да вршат снабдување на потрошувачите со електрична енергија.

Дистрибутивните електроенергетски мрежи се нарекуваат и дистрибутивни мрежи и претставуваат дел на електроенергетскиот систем.

Електродистрибутивните претпријатија имаат задача да се грижат за правилна експлоатација на постојната дистрибутивна мрежа и за нејзиното соодветно одржување, со цел на потрошувачите да им се обезбеди испорака на квалитетна електрична енергија по најниска цена. Покрај тоа, тие претпријатија треба да го планираат развојот на дистрибутивните мрежи и да обезбедуваат изградување на мрежите така што ќе можат и во иднина да одговорат на зголемените барања што ќе се постават пред нив. Поради тоа што врз исправноста на дистрибутивните мрежи се базира работата на индустријата, занаетчиството и практично најголемиот дел од активностите на современиот човек, особено е важно тие мрежи правовремено да бидат дизајнирани, проектирани и градени, односно да бидат оспособени за условите што претстојат.

Во електроенергетиката е вообичаено мрежите да се класифицираат според висината на номиналниот напон. Во таа смисла се разликуваат: нисконапонски, среднонапонски и високонапонски мрежи.

### 4.1. ЕЛЕКТРИЧНИ ПОСТРОЈКИ

Во електричните постројки се врши трансформација и распределба на електричната енергија за одделни потрошувачи. Според улогата што ја извршуваат, тие може да бидат: електрични постројки во електричните центри, во трансформаторските станици и во разводни станици.

Електричните постројки во електричните центри се составени од повеќе генератори кои се поврзани со трансформатори и ја оддаваат електричната енергија на собирници, од каде што, преку далноводи, таа се доведува до потрошувачите.

Во трансформаторските станици се вршат една или повеќе трансформации на енергијата и нејзиното распределување.

Во разводните станици не се врши трансформација на електричната енергија, туку се врши само нејзино распределување по одделни електрични изводи.

Електричните постројки меѓусебно се разликуваат, па така, според изведбата, можат да бидат: електрични постројки на отворен простор, електрични постројки во затворен простор и електрични постројки со затворена изведба.

По однос на напонот, постројките за висок напон главно се поставуваат на отворен простор и се изведуваат со различен распоред на елементите што зависи од расположливиот простор и од површината на теренот.

Постројките поставени во затворен простор се изведуваат за пониски напони, додека електричните постројки со затворена изведба се поставуваат онаму каде што се бара голема економичност во просторот, а ги задоволуваат барањата во поглед на сигурноста при ракувањето и одржувањето. Елементите во разводните постројки имаат исти функции независно од видот на постројката, а конструктивно се разликуваат во зависност од тоа дали се изложени на надворешни влијанија. Елементите за постројки во затворен простор, не се изложени на надворешни влијанија, па според тоа, имаат поедноставна конструкција и помали димензии во однос на елементите за надворешна монтажа при ист напон. Сите елементи кои се составен дел на постројките треба да бидат отпорни на напонските напрегања и на дејството на електричната струја.

За избор на елементите и апаратите во електричната постројка треба да се земат предвид номиналната струја и струите кои може да се јават при куса врска. Номиналната струја е онаа струја која може непречено да протекнува низ електричните апарати и спроводници, а при тоа да не дојде до појава на прекумерно загревање над дозволената температура.

Во електричните постројки постојат и елементи со кои се врши вклучување и исклучување на електричните кола. Основни елементи и апарати кои се составен дел на постројките се: спроводниците, изолаторите, осигурувачите за висок напон и прекинувачите.

## 4.2. ЕЛЕКТРИЧНИ ИНСТАЛАЦИИ

Електричната инсталација ја обезбедува поврзаноста меѓу електричните приемници и електричната мрежа.

Уредите и апаратите кои ја преобразуваат електричната енергија во некој друг вид енергија се нарекуваат електрични потрошувачи или приемници на електричната енергија. Електричниот приемник треба да биде приклучен на извор на електрична енергија преку електричната мрежа, разводните постројки и далноводите преку кои се напојува со електрична енергија од електричните центри.

Електричната инсталација ја сочинуваат спроводниците и другите инсталациони материјали со кои се овозможува приклучување на приемникот на изворот на електрична енергија.

Освен напојување со електрична енергија на приемниците, електричната инсталација треба да обезбеди вклучување и исклучување од електричната мрежа, заштита на спроводниците и приемниците, мерење на електричната енергија и заштита.

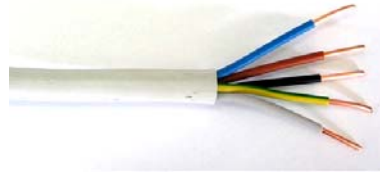
Според намената, електричната инсталација може да биде: за осветлување, за електромоторен погон, за термички потрошувачи и др.

Според начинот на поставување, електричната инсталација може да биде изведена во суви или во влажни простории, во простории со експлозивни материи и др.

Основни елементи и материјали со кои се изведува електричната инсталација се: спроводниците и каблите, изолационите материјали, електричните осигурувачи, прекинувачите, приклучните направи и разводни табли.

#### 4.2.1. Изолирани спроводници и кабли

Изолираните спроводници служат за пренос на електрична или електромагнетна енергија. Во зависност од видот на енергијата што ја спроведуваат, можат да бидат електроенергетски или телекомуникациски изолирани спроводници. Најчесто се употребуваат кај електричните инсталации.



Сл.4.1. Изолирани спроводници

Деловите на изолираните спроводници и кабли, наменети низ нив да протекува електрична струја, се изработуваат од бакар или алуминиум.

Поради поголемата распространетост во Земјината кора и пониската цена, на алуминиумот честопати му се дава предност во однос на бакарот.

Недостатоци на алуминиумот како спроводник се: тој е мек метал, во допир со воздух оксидира. Оксидот на алуминиумот на површината на металот формира слој кој не е добар спроводник. Освен тоа, алуминиумот има поголем коефициент на издолжување и е изразито негативен метал, и поврзан со други метали создава галвански елементи кои го разоруваат спојот. Под влијание на алкалии и амонијак, алуминиумот лесно кородира.

Како материјал за изолација на спроводниците се користат: поливинил-хлорид, термопластичен полиетилен, термостабилен полиетилен, гума на база на природен или стирен-бутадиенски каучук, етилен-винилацетат, бутил-гума, етилен-пропилен гума, силиконска гума и др.

Кабли се енергетски спроводници кои се изолирани и заштитени од надворешни влијанија и наменети се за поставување во земја. Во посебни случаи каблите може да се постават во вода или над земја.

За посебни услови на средината и за специфични услови на поставување се изработуваат различни кабли со соодветна конструкција.

Конструктивни елементи на еден кабел се: спроводен дел, изолација, спроводливи жици, јадро, внатрешна обвивка, механичка заштита, антикорозивна заштита и надворешна обвивка.

*Спроводливиот дел* за помали пресеци се изработува како полн, или во вид на јаже за поголеми пресеци.

За *изолацијата* на каблите се користат истите материјали како и за изолација на спроводници. Кај високонапонските кабли се користат и разни масла и гасови под притисок.

*Внатрешната обвивка* служи за заштита на јадрото од влага и послаби механички повреди.

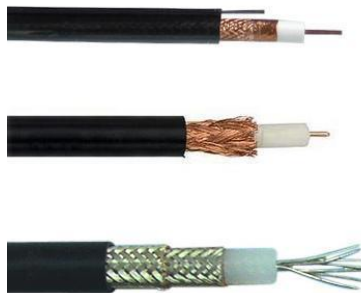
*Механичката заштита* (арматура) го заштитува кабелот од механички оштетувања и од истегнување во случај ако надворешната обвивка не ја постигне таа заштита.

*Надворешната обвивка* служи главно за заштита од корозија.

Кога низ спроводниците протекува електрична струја, во нив се ослободува топлина. Според Џуловиот закон количеството на ослободена топлина во единица време е пропорционална на активната отпорност на спроводникот и квадратот на интензитетот на струјата во него. Доколку ослободеното количество топлина предизвика значајно зголемување на температурата во спроводникот над дозволената граница, може да дојде до оштетување на изолацијата, а со тоа и до создавање услови за дефекти, пожар, оштетување на опремата и др. За да се постигне, во определени услови на поставување на опремата, температурата на спроводникот да не ја надмине вредноста преку која се можни оштетувања на изолацијата, неопходно е да се ограничи јачината на струјата на соодветна вредност. Температурите што не смеат да бидат пречекорени во тек на непрекината работа зависат од типот на употребената изолација и се дефинирани со стандард.

Изолираните спроводници и кабли кои служат за пренос на информации се нарекуваат телекомуникациски кабли и пренесуваат електромагнетна енергија. Под пренос на информации се подразбираат сите видови на аналогни и дигитални сигнали, како што се телеграфските, телефонските и телевизиските сигнали, како и сигналите за обработка и пренос на податоците.

Посебен вид изолиран кабел за пренос на информации е коаксијален кабел. Коаксијалниот кабел се состои од заштитна надворешна обвивка од изолаторски материјал под кој е поставена метална мрежа обвиткана околу изолирани спроводливи жици. Сите овие делови се наоѓаат на иста заедничка оска од каде и потекнува името на овој вид кабел.



Сл.4.2. Коаксијални кабли

Коаксијалниот кабел се употребува за пренос на телефонски, телеграфски, телевизиски и интернет сигнали кои се со висока фреквенција, како и за пренос на податоци во компјутерски системи.

Една од предностите на коаксијалниот кабел во однос на другите телекомуникациски преносни линии е во тоа што електромагнетното поле коешто се

создава во внатрешноста на кабелот овозможува сигналот да е активен само во просторот помеѓу внатрешните и надворешните спроводници. Оваа предност овозможува коаксијалниот кабел да се инсталира и во близина на метални објекти обезбедувајќи заштита на сигналот од надворешните електромагнетни полиња.

Како и секој електричен кабел така и коаксијалниот кабел кој се состои од два спроводника (централно поставена жица и цилиндрична метална мрежа) спроведува наизменична струја. Во секој момент струјата патува низ еден од спроводниците, а се враќа по другиот спроводник.

Коаксијалниот кабел се разликува од другите кабли за пренос на пониски фреквентни сигнали како што се аудиосигналите, во тоа што димензиите на кабелот се контролирани да обезбедат прецизно и константно спроводливо растојание. Како и другите видови телекомуникациски преносни линии така и коаксијалниот кабел треба специјално да се конструира со цел да се спречи загубата на моќност.

При разни нерегуларни појави (преоптоварувања и дефекти) во спроводниците/каблите може да се јават прекумерни струи. За да се спречи несаканото дејство на тие струи, неопходно е да се предвидат и вградат соодветни заштитни уреди.

Постојат три вида на стандардизирани заштитни уреди:

- уреди што обезбедуваат заштита од струја на преоптоварување и од струја на куса врска;
- уреди што обезбедуваат заштита само од струја на преоптоварување;
- уреди што обезбедуваат заштита само од струја на куса врска.

Уредите што обезбедуваат заштита од струја на преоптоварување и од струја на куса врска мора да бидат способни да ја прекинат секоја прекумерна струја до очекуваната струја на куса врска. Прекинувањето треба да се изврши пред да настане зголемување на температурата, кое е штетно за изолацијата, споевите или околината.

За оваа намена може да се користат следниве уреди:

- прекинувач што избива во случај на појава на прекумерна струја;
- прекинувач во комбинација со осигурувач;
- посебни видови осигурувачи.

#### 4.2.2. Електрични осигурувачи

Електричен осигурувач претставува елемент од електричното коло, кој при појава на прекумерна струја го прекинува електричното коло.

Во зависност од тоа на кој начин се врши прекинување на електричното коло, се разликуваат: топливи (термички) и електромагнетни (автоматски) осигурувачи. Секој вид осигурувач треба да обезбеди прекин на електричното коло при појава на прекумерна струја.

Според напонот осигурувачите може да бидат: осигурувачи за низок напон и осигурувачи за висок напон. За заштита на нисконапонските водови од прекумерни струи, што се јавуваат при куси врски или при преоптоварувања, се

користат термички (топливи) осигурувачи, автоматски (магнетни) осигурувачи или прекинувачи.

Кај топливните осигурувачи прекинувањето на електричното коло се врши со топење на спроводливата топлива жица која е поставена во патронот на осигурувачот. Напречниот пресек на спроводливата жица треба да е значително помал од пресекот на спроводникот во електричното коло каде е поставен осигурувачот. При појава на прекумерни струи во електричното коло спроводливата жица во состав на осигурувачот премногу се загрева и се топи, со што се прекинува електричното коло.

Постојат повеќе различни изведби на топливи осигурувачи кои се разликуваат според начинот на приклучувањето, монтажата и др. Составните делови на осигурувачот се: основа, контактен прстен, патрон и капа. Сите делови на осигурувачот еднаврсно се изработени од порцелан.

Основата на осигурувачот се изработува од порцелан, а се прицврстува на разводна табла. Во внатрешноста на основата на осигурувачот поставен е месинг.

Контактниот прстен може да биде со различни пречници во зависност од конструктивниот облик на осигурувачот.

Патронот се состои од порцеланско тело во кое е поставена топливата жица, а меѓупросторот е исполнет со кварцен песок и додаток на лискун. Кварцниот песок ја презема развиената топлина која се јавува при загревањето и топењето на спроводливата жица. На горниот контакт сместена е сигнална плочка која, преку спирална пружина, е поврзана со топливата жица.

Капата на осигурувачот на горниот дел затворена е со стакло низ кое може да се види сигналната плочка на патронот.



Сл.4.3. Составни делови на осигурувач



За заштита од преоптоварување и куси врски во индустриските електрични инсталации и во дистрибутивните мрежи се употребуваат осигурувачи со големи прекинувачки можности.

Најчесто употребувани материјали за изработка на топливи жици се: легурите на олово и калај, цинк, алуминиум, сребро и други метали и нивни легури.

*Автоматскиите осигурувачи* се далеку попрактични од топливите осигурувачи. Во нив електромагнетниот уред го прекинува струјното коло кога низ осигурувачот ќе протече поголема јачина на струја од димензионираната за истиот или ако дојде до било каков дефект во струјното коло. Осигурувачот повторно се активира со подигање на рачката во неговата горна положба. Автоматскиот осигурувач се користи и како прекинувач така што со едноставно повлекување на рачката во долна положба се прекинува струјното коло и потоа со подигање на рачката се вклучува истиот. Во индустријата и електроенергетските системи се користат и други видови осигурувачи за прекумерни струи, високи напони и др.

### 4.2.3. Прекинувачи

Прекинувачот е елемент од електричната инсталација со помош на кој се овозможува вклучување и исклучување на одделни електрични кола.

При исклучувањето на електричното коло со прекинувачот доаѓа до одвојување на подвижниот контакт од неподвижниот, поради што се појавува електричен лак. Електричен лак се јавува ако во електрично коло во кое има подвижни контакти се пропушти струја, на краевите на контактите ќе се јави голем отпор, така што поради Џуловата топлина тоа место многу ќе се загрее. Кога контактите ќе се раздвојат за неколку милиметри, меѓу нив се појавува многу светол пламен со висока температура наречен електричен лак. Со зголемување на растојанието помеѓу контактите се издолжува електричниот лак, поради што тој се лади и се создаваат услови за негово гасење. При исклучен прекинувач контактите се на доволно големо растојание со што се исклучува можноста за повторно воспоставување на електричен лак. Под дејство на електричниот лак, поради развиената висока температура може да дојде до оштетување на контактите. Од ова произлегува дека прекинувачите треба да обезбедат брзо гасење на електричниот лак.

Прекинувачите што се употребуваат непосредно во електричните инсталации за вклучување и исклучување на одделни потрошувачи се нарекуваат инсталациони прекинувачи. Може да имаат различна конструкција, која се разликува според нивната функција, местото на кое се поставуваат, начинот на прицврстувањето и др. Тие се направени од еднакви склопни елементи од изолационен материјал и поставени се на заедничка оска.

Постојат и автоматски прекинувачи кај кои автоматското вклучување и исклучување најчесто се врши под дејство на некој електромагнет и во нив се поставуваат т.н. заштитни прекинувачи. Заштитните прекинувачи најчесто обезбедуваат заштита од преоптоварување, заштита од куса врска и др.



Сл.4.4. Прекинувачи

#### 4.2.4. Приклучни направи

Приклучните направи се елементи од електричната инсталација со кои се обезбедува приклучување на подвижниот приемник на изворот од електричната енергија. Постојат различни видови приклучни направи во зависност од функцијата, според начинот на вградување, околината во која се поставуваат, според заштитниот контакт и др.

Приклучните направи се состојат од подвижни и неподвижни делови.

Приклучниците (сл.4.5) се неподвижни делови од приклучните направи, кои ја даваат врската меѓу електричната инсталација и подвижните приклучни направи. Се изработуваат за номинални струи од 6А, 10А, 16А и 25А.



Сл.4.5. Приклучници

Подвижните приклучни направи се нарекуваат приклучни виљушки (сл.4.6).

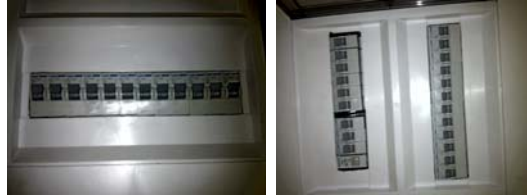
Приклучните виљушки го претставуваат подвижниот дел од приклучните направи кои ја овозможуваат врската меѓу приклучницата и електричниот приемник. Се изведуваат како двополови и триполови, со или без заштитен контакт.



Сл.4.6. Приклучни виљушки

#### 4.2.5. Разводни табли

Разводните табли претставуваат место од каде што се разгрануваат водовите за одделните електрични кола во електричната инсталација.



Сл.4.7. Разводни табли

Во разводните табли се поставуваат: осигурувачи, електрични броила, автоматски прекинувач и др. Кај разводните табли во индустриските погони, освен осигурувачите и електричните броила може да бидат поврзани и амперметри за мерење на јачината на електричната струја за одделни потрошувачи, како и волтметри за мерење на напонот, разни прекинувачи и заштитни и сигнални уреди со кои ќе се следи работата во индустриските погони.

## 5. ПРОИЗВОДСТВО НА ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА

Електричната енергија се произведува во електрични генератори кои се лоцирани во електричните централи, додека трансформаторите и водовите кои ја сочинуваат преносната мрежа се само посредници во преносот на електричната енергија кои овозможуваат нејзино ефикасно транспортирање до корисниците.

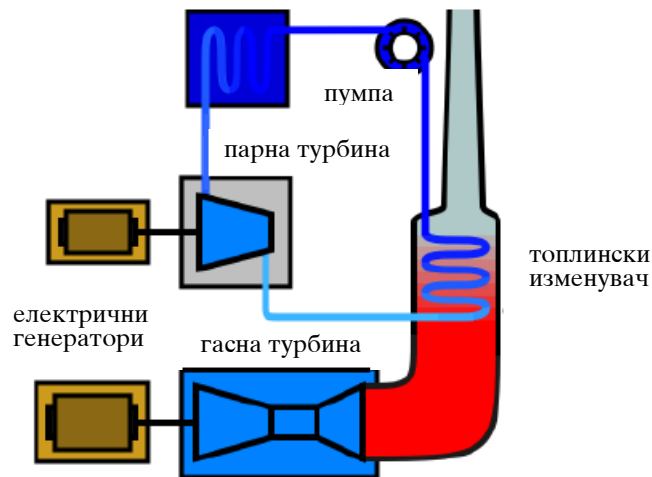
Генераторите во електроенергетските системи вршат конверзија на одреден вид енергија (топлина, енергија на водата, енергија на ветерот и др.) во електрична енергија. Тие се сместени во електричните централи кои во основа можат да се поделат на термоелектрични централи, хидроелектрични централи (хидроцентрали), ветерни електрични централи и др.

Локацијата на електричните централи главно зависи од локацијата на изворот на енергија кои тие ја трансформираат во електрична, додека пак локацијата на поголемите потрошувачи главно се поклопува со локацијата на градовите. Тоа значи дека во секој електроенергетски систем природно се јавува потреба од пренос на електрична енергија на далечина која понекогаш се мери и со повеќе стотици километри.

Изворите на електрична енергија кои се исцрпуваат и не е можно да се обноват се нарекуваат конвенционални извори на енергија (јаглен, нафта, природен гас и др.). Постојат и алтернативни извори на енергија кои се нарекуваат неконвенционални. Во алтернативна енергија спаѓаат: сончевата енергија, енергијата од ветер, биоенергијата (енергија од биомаса: биогаз, биодизел и др.), геотермалната енергија и др.

### 5.1. ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИ ЦЕНТРАЛИ (ТЕРМОЦЕНТРАЛИ)

Термоелектричните централи се енергетски постројки во кои хемиската енергија на фосилните горива (јаглен, нафта, гас и др.) се претвора во топлинска енергија, а потоа истата, со посредство на турбини, се трансформира во механичка енергија која во електричните генератори се претвора во електрична енергија. Топлинската енергија, која се ослободува од фосилните горива, служи за загревање на вода која на температура над точката на вриење поминува во гасна состојба, односно пареа со многу висок притисок. Од парниот котел пареата се доведува до турбината. Во термоцентралите се произведуваат големи количества електрична енергија, но познато е дека тие неповолно влијаат на животната средина бидејќи испуштаат гасови и пепел во атмосферата, како резултат од согорувањето.



Сл.5.1.1. Шема на термоелектрична централа

## Парни турбини

Парните турбини претставуваат термички мотори кои се користат за движење на електричните генератори. Тие имаат низа предности во однос на другите термички мотори (парни машини, мотори со внатрешно согорување и гасни турбини). Постојат различни конструкции на парните турбини во зависност од нивната моќност и начин на регулација, од параметрите на свежата пареа, од начинот на ширењето на пареата во лопатките итн. Основна е класификацијата на парните турбини според нивната енергетска намена. Според неа, турбините се делат на кондензациони и топлификациони. Кондензационите турбини служат исклучиво за производство на електрична енергија додека топлификационите турбини можат да се користат и за производство на топлина.

## 5.2. ХИДРОЕЛЕКТРИЧНИ ЦЕНТРАЛИ (ХИДРОЦЕНТРАЛИ)

Хидроелектричните центри се објекти чија основна намена е конверзија на кинетичката енергија на водата во електрична енергија погодна за транспорт низ далекуводна и дистрибутивна мрежа.

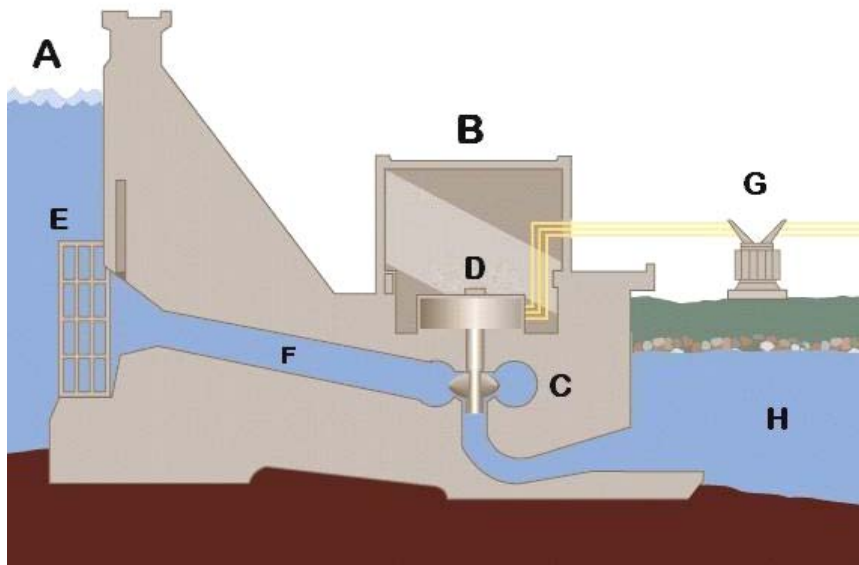
Водата покрива 71% од Земјината површина. Најголемиот дел од енергијата на водата е во морињата и океаните, меѓутоа не постои економска оправданост за искористување на таа енергија.

Кога се зборува за водната енергија, во прв ред се има предвид енергијата на речните текови и езерата кои се наоѓаат на одредени надморски височини. Долго време искористувањето на водната енергија било ограничено од фактот дека таа морала да се користи на местото каде што се појавувала, бидејќи не постоел начин да се пренесува на релативно големи растојанија со релативно мали загуби. Од таа причина, до крајот на 19 век, водната енергија се користела за потребите на мали претпријатија, мелници и др., кои биле

поставувани на бреговите од реките. Со откривањето на можноста за нејзино пренесување на големи растојанија, водната енергија, трансформирана во електрична енергија, зазема значајно место во светскиот енергетски биланс. Недостиг на водните енергетски извори претставуваат непостојаните водни текови, односно значителните сезонски и годишни варијации на водните текови. Кога извесно количество вода се наоѓа на поголема висина од морското ниво, тоа содржи потенцијална енергија. Поради Земјината тежа, тоа се стреми кон морето образувајќи потоци и реки. При движењето, потенцијалната енергија на водата се трансформира во кинетичка, а еден дел се троши за совладување на отпорите на триење на кои притоа наидува.

За да може да се искористи енергијата на водата, неопходно е да се создаде висинска разлика. Затоа локацијата на хидроцентралите зависи од расположливите количества вода кои ги придвижуваат хидротурбините како и од висинскиот пад на водата од локацијата каде таа се акумулира до локацијата на самите турбини.

Искористувањето на водната енергија е поврзано со неопходноста од создавање висинска разлика пред и по електричната централа. Во зависност од топографските и геолошките услови на местото каде што треба да биде изградена хидроелектричната централа, тоа се постигнува на следниве начини: со изградба на брана, со помош на деривациона постројка, со вклопување во земја на хидроелектричната централа и комбинирано.



Сл.5.2. Хидроелектрична централа

А–резервоар, В–машинска зграда, С–турбина, Д–генератор, Е–влез на вода,  
 Ф–цевка за вода, Г–високонапонски линии, Н–река

Распределбата на водните текови во текот на годината е многу нерамномерна, а тоа е неповолно од аспект на производството на електрична енергија, би-

дејќи средната дневна потрошувачка на електрична енергија, во текот на сезоната е релативно константна.

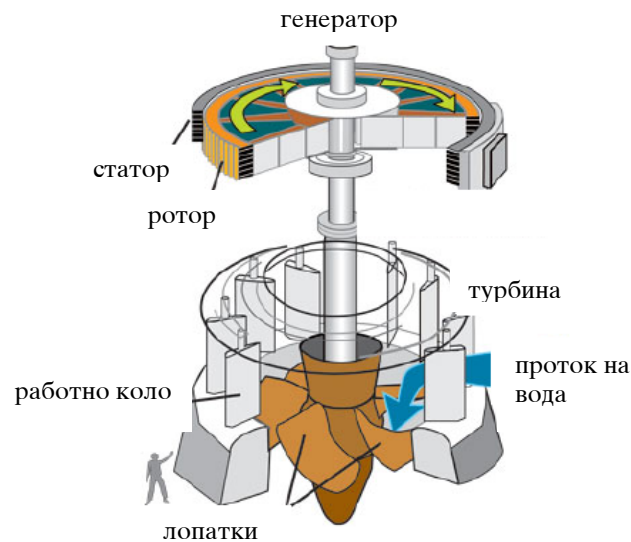
За целосно и економично искористување на водната енергија неопходно е водните ресурси да се прераспределат во текот на времето, со цел да се приспособи режимот на производство на електрична енергија од хидроелектричните центри кон барањата на потрошувачите. Последново се постигнува со *изградба на акумулации*, со чија помош се регулира водниот тек. Кога протекот на реката е голем, вишокот на водните количества се собира во акумулацијата, а кога е мал, се дополнува со резервата од акумулацијата. Според тоа, акумулацијата служи за акумулирање и за регулирање на водната енергија. Во зависност од периодот за кој акумулацијата овозможува израмнување на водните количества, се разликуваат: дневно, неделно, годишно и повеќегодишно регулирање на протекот. Акумулациите за дневно и за неделно акумулирање имаат мал волумен. Задача на првите е да го задржат вишокот на вода во текот на ноќните часови за да се искористи тој вишок во часовите кога се јавува најголема потреба од енергија. Вторите, пак, го собираат вишокот вода во текот на неработните денови кога побарувачката на енергија е релативно мала, а се троши во другите денови од неделата. Дневните и неделните израмнувања се предвидуваат кај оние хидроелектрични центри што се наоѓаат на водотеците со среден или висок пад и кои имаат релативно мали дотеци на вода. Годишното израмнување обезбедува прераспределба на дотеките за време на целата година. Во периодот кога има поголеми количества вода, вишокот се собира во акумулацијата со цел тој да се стави на располагање во периодот кога има потреба од тоа. Во случај волуменот на акумулацијата да е многу голем, можно е во текот на годината со многу врнежи да не се искористи целата насобрана вода. Неискористениот дел служи за зголемување на водните резерви во акумулацијата во годините со мали атмосферски врнежи. Таквото израмнување се нарекува повеќегодишно. За да се искористи енергијата на водата во движење, неопходно е да се создаде висинска разлика на некој дел од определена река. Тоа се постигнува по пат на изградба на брана или со деривација. Во првиот случај пред браната се создава вештачки резервоар, односно акумулација. Акумулациите на хидроелектричните центри служат за да го трансформираат природниот режим на речниот тек, кој обично е нерамномерен, во режим кој е соодветен на потребите на енергетиката. Освен тоа, акумулациите имаат и функција на заштита од поплави на просторот по електричната централа, во периоди на полноводие. За таа цел, одредено количество вода се задржува во акумулацијата, а како резултат на тоа, протокот на вода, кој ја напушта електричната централа и оди во првобитното корито на реката, е значително помал од природниот проток во услови на полноводие. На тој начин основна карактеристика на акумулациите претставува можноста за регулација на речните водни текови.

Висинска разлика на водата пред и по електричната централа со *изградба на брана* се добива со преградување на реката со помош на брана на акумулацијата и се користи кај реки со мал наклон, односно кај рамнински реки. Браната е поставена во речното корито, а во нејзината непосредна близина се наоѓа машинска зграда на хидроелектричната централа во која се сместени хидроагрегатите.

Добивањето воден пад со помош на деривација се користи кај планинските реки, односно кај реките кои имаат голем наклон. Кај нив водата што се зафаќа од реката со помош на мала акумулација се упатува кон зградата на хидроелектричната централа со помош на деривационен канал со минимален наклон.

### Хидротурбини

Хидротурбините претставуваат мотори кои служат за трансформирање на кинетичката и потенцијалната енергија на водата во механичка енергија. Основните типови хидротурбини конструирани се пред два века, а се користат и денес. Тоа се хидротурбините на Францис, Пелтон и Каплановата хидротурбина.



Сл.5.3. Хидротурбина со генератор

Хидротурбините се делат на активни и реактивни. Искористувањето на потенцијалната енергија кај реактивните хидротурбини е делумно. Во зависност од расположливиот воден пад, хидротурбините се делат на: нископритисни, среднопритисни и високопритисни хидротурбини. Според големината, хидротурбините може да бидат мали, средни и големи.

Реактивните хидротурбини, во зависност од правецот на движење на водниот тек со кој се доведува тој кон работното коло на хидротурбината и се одведува од него, можат да бидат:

- осни (аксијални)
- радијално-аксијални
- дијагонални

Кај аксијалните хидротурбини водата се доведува до работното коло и се одведува од него по цилиндрични површини, паралелни со оската на хидротурбината.



Кај радијално-аксијалните хидротурбини водата се доведува по радијални површини, во однос на оската на хидротурбината, а се одведува паралелно со оската на хидротурбината.

Додека кај дијагоналните хидротурбини водата се доведува до работното коло и се одведува од него по конусни површини кои со оската на хидроагрегатот зафаќаат одреден агол.

### **Основна енергетска опрема во машинските згради на хидроелектричните центри**

Основната енергетска опрема во хидроелектричните центри може да се подели на хидроенергетска, електрична, механичка и помошна опрема.

Хидротурбините и системите за ладење, подмачкување и автоматско управување претставуваат основна хидроенергетска опрема.

Во зависност од расположливиот воден пад, турбините се состојат од три дела: доведен дел (турбинска комора), хидромеханички дел (спроводен апарат, работно коло) и одведен дел.

Во електрична опрема на хидроелектричните центри спаѓаат: хидрогенераторите и системите кои им припаѓаат (системи за автоматско управување, возбуди системи, системи за ладење), генераторски собирници, енергетски трансформатори, електрични далноводи за висок напон, разводни постројки за висок напон на отворен простор, системи за сопствени потреби, систем за контрола и управување и централен пулт за управување.

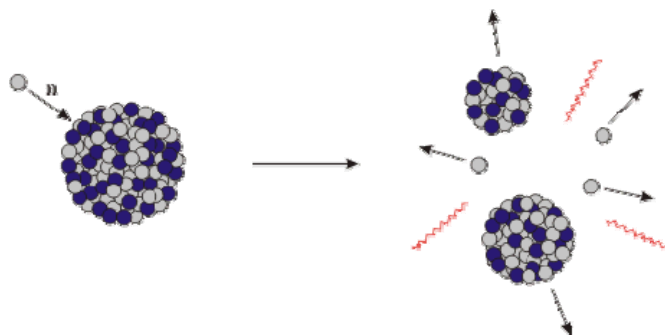
Хидрогенераторите служат за трансформирање на механичката енергија на оската на хидротурбината во електрична енергија која понатаму се предава на електроенергетскиот систем. Основни делови на хидрогенераторите се: ротор, кој создава вртливо магнетно поле и статор во чии намотки се индуцира наизменична струја. Возбудниот систем има задача да обезбеди напојување на роторската намотка со еднонасочна струја. Независно од тоа што коефициентот на корисно дејство на хидрогенераторите е висок (до 98%), загубите во него можат да доведат до недозволно загревање како на неговите намотки, така и на масивните делови. Со цел да се ограничи температурата на одделни делови на хидрогенераторите на одредена вредност, за време на работењето на генераторот, неопходно е да се врши одведување на топлина. Тоа се остварува со помош на системот за ладење. Постојат разни конструкции на системите за ладење, но заедничко им е тоа што потребната вода за таа цел ја добиваат од системот за техничко водоснабдување.

Системот за автоматска регулација се состои од постројка за обезбедување на масло под притисок, столб на регулаторот на бројот на вртежи на агрегатот, сервомотор и масловоди за поврзување. Врската на столбот на регулаторот со агрегатот се остварува со помош на тахогенератор, поставен на оската на генераторот. Енергетските трансформатори служат за зголемување на напонот, со цел да се пренесе енергијата на релативно големи растојанија со релативно мали загуби. Разводните постројки на отворен простор служат за распределување на енергијата произведена во хидроелектричната централа помеѓу одделните електрични водови за висок напон. Во разводните постројки постојат прекинувачи кои се неопходни за заштита на опремата од дефекти какви што се, на пример, кратките споеви (куси врски).

### 5.3. НУКЛЕАРНА ЕНЕРГИЈА И НЕЈЗИНО ИСКОРИСТУВАЊЕ

Нуклеарна енергија е енергија содржана во јадрото на атомите и се нарекува уште и атомска енергија. Нуклеарната енергија може да се ослободи при нуклеарни реакции во атомското јадро.

Во атомското јадро се наоѓаат протони и неутрони меѓу кои дејствуваат јаки привлечни сили. Ако атомското јадро се раздели на неговите составни делови или пак на две или повеќе полесни јадра, се ослободува големо количество топлинска енергија и се емитува јонизирачко зрачење. Овој процес настанува кога неутрон ќе се внесе во јадрото на атомот на некои хемиски елементи (како што се ураниум, ториум или плутониум) и тој се нарекува фисија. При процесот на фисија околу 0.15% од масата се претвора во енергија. Единствен материјал што се среќава во природата а е подложен на фисија е ураниумот. Кај изотопот на ураниумот U-235 ослободената енергија изнесува приближно 200 MeV. При процесот на фисија се ослободуваат неколку брзи неутрони со енергија од околу 2 MeV кои, доколку се апсорбираат од други атомски јадра, можат да предизвикаат нова фисија при што настанува верижна реакција.



Сл.5.4. Нуклеарна фисија

Продуктите што се добиваат при фисија се нестабилни, имаат вишок енергија, а за да воспостават рамнотежа и понатаму се распаѓаат емитувајќи при тоа дополнително количество топлинска енергија и радиоактивно зрачење. Енергијата на радиоактивното зрачење се искористува со примена на радиоактивни извори и со радиоактивни изотопи (за озрачување на материјалите во научноистражувачката работа како и за терапевтски цели во медицината).

Нуклеарната енергија може да се ослободи и при процес на фузија кој претставува обратен процес на фисија. Термонуклеарната фузија е процес на соединување на атомските јадра на некои лесни хемиски елементи (водород, хелиум) при што еден дел од масата се претвора во енергија. При загревање на водородот на многу високи температури доаѓа до соединување на атомските јадра на водородот при што се создава хелиум и се ослободува големо количество енергија.

### 5.3.1. Нуклеарни центри

Енергијата на фисијата се користи за производство на електрична енергија во нуклеарните реактори. Во нуклеарните центри се поставени нуклеарни реактори во кои, преку процесите на фисија или фузија, контролирано се создава нуклеарна енергија.

Нуклеарните центри се разликуваат според видот на реакторот што е поставен во нив и се состојат од: нуклеарно гориво, модератор на неутрони, разладна комора, контролни прачки, компензатор, систем за брзо ладење на јадрото на реакторот, систем за заштита, генератор на пара кај повеќето реактори, градба во која е поставен нуклеарниот реактор, пумпа за вода, парна турбина, електричен генератор и кондензатор на пара.

Нуклеарните реактори користат нуклеарно гориво, модератор и разладен флуид.

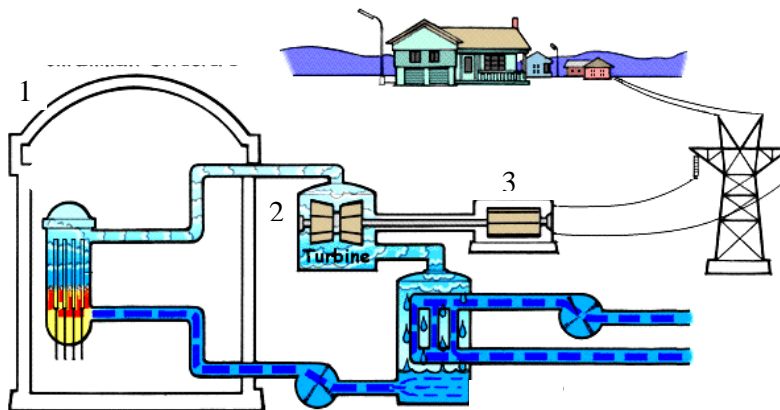
*Нуклеарното гориво* произведува топлинска енергија преку процесот фисија. Како нуклеарно гориво најчесто се користи природен или збогатен ураниум или ураниум диоксид. Збогатениот ураниум се добива од природниот ураниум со додавање на определено количество изотоп на ураниумот U-235. Природниот ураниум во својот состав содржи само 0,72% изотоп U-235, а остатокот е претежно изотоп U-238 и сосема мало количество U-234. Со зголемувањето на концентрацијата на изотопот U-235 во природниот ураниум се зголемува веројатноста да дојде до реакција на фисија.

*Модераторот* претставува медиум за забавување на неутроните со цел да се зголеми веројатноста за настанување на нуклеарна реакција. Како модератори може да се користат обичната вода, тешката вода и графитот.

*Разладниот флуид* ја отстранува топлинската енергија настаната во процесот на фисија. Најчесто користени разладни флуиди се: обичната вода, тешката вода, јаглеродниот диоксид, хелиумот и др.

Нуклеарните реактори се користат за производство на електрична енергија, меѓутоа и за научни истражувања, како и производство на радиоизотопи (за потребите на индустријата и медицината) и за научноистражувачки експерименти.

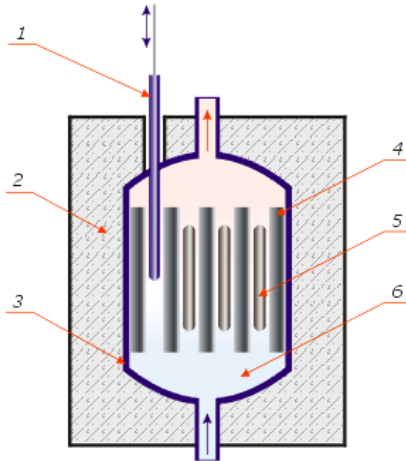
При процесот на фисија, кај нуклеарните реактори настанува контролирана верижна нуклеарна реакција при што се ослободува енергија која се користи за загревање на вода, за производство на пара која придвижува турбина поставена до генераторот на електричната енергија.



Сл.5.5. Нуклеарна централа: 1 – нуклеарен реактор; 2 – турбина; 3 – генератор

Неконтролираната верижна нуклеарна реакција претставува нуклеарна експлозија и се користи кај атомските бомби.

Нуклеарните реактори се состојат од јадро на реакторот со нуклеарно гориво и модератор, рефлектор на неутрони поставен околу јадрото на реакторот, спроводник на топлината, систем за регулација на процесот на фисија, заштита од хаварии, заштита од радијација и систем за далечинско управување.



Сл.5.6. Шема на нуклеарен реактор: 1 - контролни прачки; 2 - биолошка заштита; 3 - механичка заштита; 4 - модератор на неутрони; 5 – нуклеарно гориво; 6 – спроводник на топлината

Основната поделба на нуклеарните реактори е направена според видот на горивото кое го користи реакторот, модераторот и употребениот разладен флуид.

- Реактори кај кои разладувањето се постигнува со обична вода, а истата вода се користи како модератор на неутроните

Во оваа група реактори спаѓаат :

- PWR (Pressurized Water Reactor) – реактор со вода под притисок
- BWR (Boiling Water Reactor) – реактор со вода која врие

Овие реактори се најраспространети бидејќи се претпоставува дека се најбезбедни, имаат голема ефикасност и стабилност.

- Реактори кај кои разладувањето и модерирањето се постигнува со тешка вода

Тешката вода претставува деутериум оксид и според физичките и хемиските својства, се разликува од обичната вода.

На оваа група реактори припаѓа PHWR (Pressurized Heavy Water Reactor) – реактор со тешка вода под притисок;

Првиот реактор од овој вид е изграден во Канада и бил наречен CANDU. Реакторите кои се разладувани и модерирани со тешка вода како нуклеарно гориво можат да користат природен ураниум. Кај нив замената на горивото може да се изведе и за време на работа на реакторот, со што е овозможено заштеда на енергија, време, горивен материјал и др.

- Реактори кај кои модерирањето се постигнува со примена на графит

Во оваа група спаѓаат следниве видови реактори:

LWGR (Light Water Graphite Reactor) – реактор разладуван со лесна вода и модериран со графит

Овој вид реактори се изградени главно во Русија. Еден од нив е и реакторот во Чернобил направен првенствено за производство на електрична енергија. Овие реактори имаат недоволна сигурност и се недоволно безбедни.

GCR (Gas Cooled Graphite Moderated Reactor) – реактор кој се разладува со гас, а како модератор користи графит. Кај овој вид реактори како разладен флуид најчесто се користи јаглероден диоксид. Во споредба со реакторите кои користат вода под притисок, овие реактори имаат поголема ефикасност и покрај повисоките температури припаѓаат на групата термички реактори.

- Реактори кои се разладуваат со течен метал

Постојат два вида реактори кои се разладуваат со течен метал во зависност од тоа дали течниот метал е олово или натриум во течна состојба. Овие видови реактори немаат модератор и се со голема ефикасност бидејќи имаат голем степен на искористување.

#### 5.4. ГЕОТЕРМАЛНА ЕНЕРГИЈА И НЕЈЗИНО ИСКОРИСТУВАЊЕ

Геотермална енергија е топлинска енергија која се создава во Земјата и е последица на разни процеси кои се случуваат во внатрешноста на Земјата како резултат на: постепено распаѓање на радиоактивни елементи, хемиски реакции, кристализација на растопени материјали или како последица на триењето кое се јавува при поместувањето на тектонските маси.

Името геотермална енергија потекнува од грчките зборови *geo* - земја и *therme* – топлина, што би значело топлина од земјата.

Количествата на овој вид енергија содржани во Земјата се речиси неисцрпни. Имајќи го предвид огромниот потенцијал на геотермалната енергија, логично е да се третира како обновлива, без разлика што таа по својот карактер е не-обновлива, бидејќи Земјата неповратно се лади.

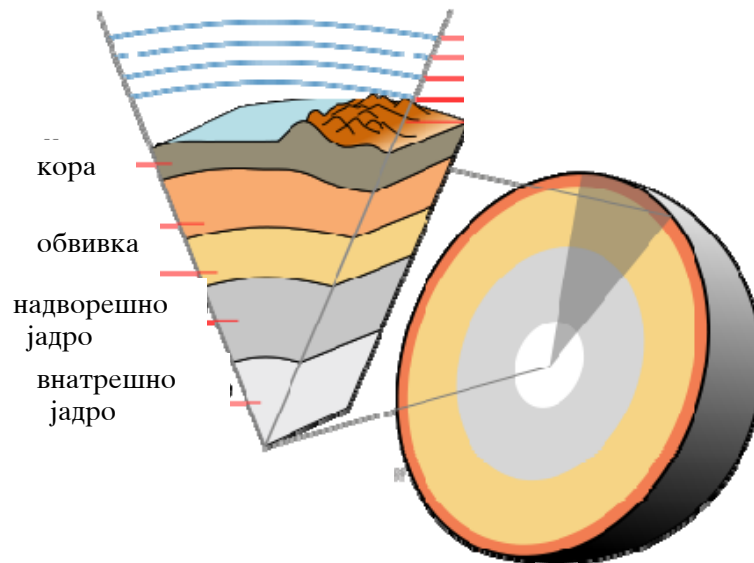
По својата структура Земјата се состои од надворешна цврста кора со мала дебелина, обвивка со голема дебелина, составена од повеќе слоеви и јадро составено од надворешен и внатрешен дел.

Земјината кора е со просечна дебелина до 35 km и има најразличен состав, а главно се состои од алуминиумови силикати.

Под неа е Земјината обвивка која се протега до длабочина од 2900 km и е составена од цврсти карпи кои во својот состав содржат главно железо и магнезиум и понекогаш врели и растопени карпи кои се нарекуваат магма. Магмата може да дојде на површината на Земјата во облик на лава доколку Земјината кора е тенка и испукана. Поголемиот дел од магмата не стигнува до површината и загрева големи региони од подземни карпи.

Земјината обвивка се состои од повеќе слоеви и тоа: горна обвивка која се протега на длабочина до 35 до 410 km, преодна зона со длабочина од 410 до 660 km, долна обвивка од 660 до 2891 km и најпосле се наоѓа слој со променлива дебелина.

Во централниот дел на внатрешноста во Земјата се наоѓа јадро кое се состои од два дела: надворешно и внатрешно јадро. Надворешниот дел од јадрото е од цврста, а внатрешниот дел е во течна агрегатна состојба. Земјиното јадро се состои од несиликатни минерали кои содржат, главно, железо со примеси од кислород, силициум, сулфур и никел.



Сл.5.7. Пресек на внатрешноста на Земјата

Промената на температурата од длабочините на слоевите на Земјата се нарекува геотермален градиент. Температурниот градиент, односно зголемувањето на температурата по километар длабочина, е најголем непосредно до површината, а со зголемувањето на оддалеченоста од површината, тој станува се помал. До длабочина од 30 метри топлината на Земјината површина е условена и од зрачењето на Сонцето и во тие слоеви температурата е речиси константна.

Изворите на геотермална енергија се присутни во Земјината кора, во вид на термални извори на топла вода или пареа содржани во порозни и пропустливи карпи на длабочина од 100 до 4500 km.

Дождовницата понира низ пукнатините на карпите со километри надолу. Откако ќе се загрее, може да се врати кон површината како пареа или топла

вода. Кога топлата вода и пареата ќе стигнат до површината, можат да формираат гејзери, фумароли и калишта. Кога температурата на водата е доволно висока, над  $170^{\circ}\text{C}$ , при излегувањето на површината се претвора во пареа која може да се користи за погон на парна турбина, а со тоа и за производство на електрична енергија, а кога температурите се пониски редовно се користи секундарен преносник на топлина.

Ако на патот кон површината топлата вода или пареата бидат заробени меѓу пропустливи и порозни карпи, под слој од непропустливи карпи, може да се формира геотермален резервоар. Геотермалните резервоари постигнуваат температури поголеми и од  $370^{\circ}\text{C}$ .

Лежиштата на вода и гасовите под висок притисок се наоѓаат на длабочини од 3000 до 6000 m. Притоа водата е со умерена температура, меѓу  $90$  и  $200^{\circ}\text{C}$  и содржи растворен метан. Поради постоењето на високите притисоци би било можно да се искористува како механичка, топлинска па и хемиска енергија, но со досегашната технологија, тоа сè уште се смета за неисплатливо.

Врелите и растопени карпи, односно магмата, се наоѓаат во непропустливите слоеви на големи длабочини и имаат висока температура, меѓу  $700$  и  $1200^{\circ}\text{C}$ . За нивно искористување би била потребна сложена технологија што е сè уште неисплатливо, ниту технолошки целосно разработено. Засега постојат само неколку испитни постројки.

Според температурата на геотермалниот медиум, геотермалните извори можат да бидат: нискотемпературни – со горна граница на температурата меѓу  $90$  и  $150^{\circ}\text{C}$ , среднотемпературни – во температурен интервал од  $90$  до  $225^{\circ}\text{C}$ , и високотемпературни – со долна граница на температурите меѓу  $150$  и  $225^{\circ}\text{C}$ .

Геотермалната енергија денес се користи во многу земји за потребите на лечење и рекреација, за греење, за загревање на оранжерии, рибници, за потребите на индустријата и за производство на електрична енергија.

Иако геотермалниот потенцијал е огромен и е 35 милијарди пати повеќе отколку што изнесуваат денешните потреби од енергија, само мал дел од тој потенцијал може да се искористува од површината на Земјата до длабочина од 5000 m.

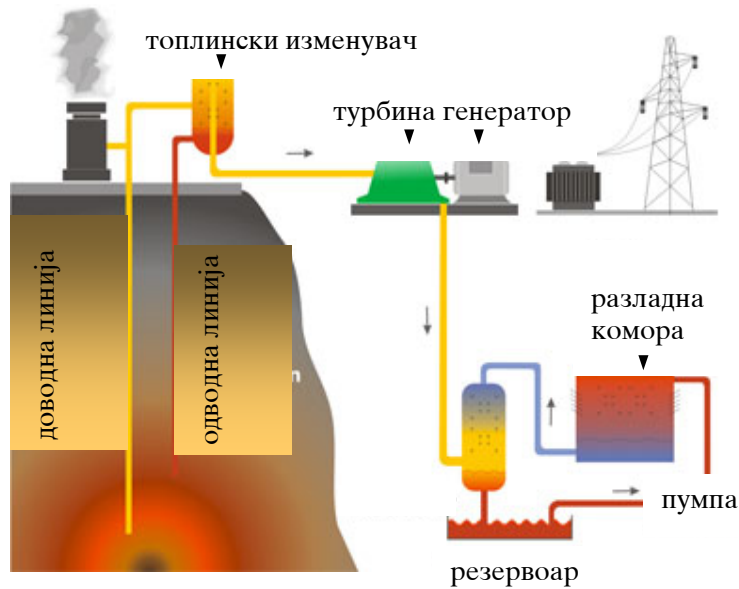
#### 5.4.1. Геотермални електрични центри

Геотермалната енергија се користи за производство на електрична енергија во геотермални електрични центри. Геотермалните центри не ја загадуваат животната средина бидејќи единствен спореден продукт при производството на електрична енергија е водената пареа.

Како и кај сите парнотурбински генератори, моќта на пареата се користи за придвижување на турбинските лопатки кои, пак, го ротираат генераторот што произведува електрична енергија.

Геотермалната вода од производниот резервоар се доведува во топлинскиот изменувач на геотермалните центри каде се трансформира во пареа која се користи за придвижување на парната турбина. Така создадената механичка енергија од турбината се трансформира во електрична енергија во електричниот генератор. Употребената пареа се кондензира и се собира во резервоар од каде што се транспортира во разладна комора со помош на пумпа и како ладна вода се користи за кондензација на употребената водена пареа од

парната турбина. Вишокот на вода која не се трансформирала во пареа се враќа во производниот резервоар преку одводната линија.



Сл.5.8. Геотермална централа

Постојат различни видови геотермални резервоари и различни видови геотермални центри. Генерално се користат три вида геотермални центри:

- Геотермални центри кои работат по принцип на сува пареа, користат водена пареа на температура повисока од  $235^{\circ}\text{C}$ . Пареата се користи за директно придвижување на парната турбина. Ова е наједноставен и најстар принцип кој сè уште се користи бидејќи е најекономичен принцип за производство на електрична енергија од геотермалните извори.
- Геотермални центри кои работат по принцип на сепарирана пареа, користат врела вода од геотермални резервоари која е под висок притисок и е со температура над  $182^{\circ}\text{C}$ . За да се искористи врелата вода од геотермалните резервоари за производство на електрична енергија, потребно е таа да се донесе со помош на пумпа од резервоарите до геотермалната централа. При преносот на врелата вода од резервоарите до површината, се намалува притисокот и таа се претвора во пареа која потоа ги придвижува турбините. Повеќето современи геотермални центри го користат овој принцип за производство на електрична енергија.
- Геотермални центри кои работат по принцип на бинарни циклуси, користат врела вода која служи за загревање на флуид со пониска температура. Пареата од флуидот ја движи турбината. Бинарната технологија овозможува користење на резервоари со пониска температура за производство на електрична енергија со што се зголемува геотермални-



от потенцијал за таа намена. Предноста на овој принцип е поголема ефикасност на постапката, како и затвореност на системот кој овозможува употребената вода повторно да се враќа во резервоарот со што загубите на топлината се помали. Повеќето од геотермалните центри, кои ќе се градат во иднина, ќе работат на овој принцип.

## 5.5. СОНЧЕВА ЕНЕРГИЈА И НЕЈЗИНО ИСКОРИСТУВАЊЕ

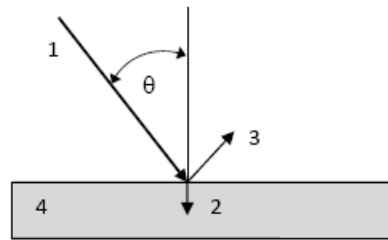
Сонцето е ѕвезда со средна големина. По својот облик, претставува гасовита сфера. Составено е од околу 75% водород, 24% хелиум и 1% други елементи. По својата структура, Сонцето се состои од јадро, радијантна зона, конвективна зона и фотосфера со многу мала дебелина. Во јадрото, како резултат на високи притисоци и температури, се одвиваат реакции на нуклеарна фузија на атомите на водород во атоми на хелиум при што се ослободува енергија во облик на електромагнетно гама-зрачење, неутрини и енергетски честички. Гама-зраците, на патот до површината на Сонцето, ја губат својата енергија, така што од површината се емитува електромагнетно зрачење од оптичкиот дел на спектарот. Радијацијата која зрачи од површината на Сонцето има спектрална распределба многу блиска на зрачењето на апсолутно црно тело заради што може да се смета дека Сонцето претставува совршен извор на зрачење. Вкупната моќност која Сонцето ја оддава во околниот простор изнесува околу  $3,8 \cdot 10^{26}$  W т.е. од секој квадратен метар на Сончевата површина се емитува зрачење со моќност од 63,11 MW. Земјата, која е оддалечена од Сонцето околу 150 милиони километри, од вкупната моќност на Сончевото зрачење прима само еден незначителен дел. Но, и таа моќност, за наши поими, е огромна и изнесува околу  $1,78 \cdot 10^{17}$  W. Тоа значи дека секоја година Земјата прима количество на енергија кое се проценува на околу  $58 \cdot 10^{16}$  kWh, што е десет илјади пати повеќе од сегашните годишни енергетски потреби на човештвото.

Со навлегувањето во Земјината атмосфера, дел од зрачењето се рефлектира назад во вселената (околу 30%), а дел се апсорбира во атомите, молекулите и јоните на присутните гасови и аеросоли (азот, кислород, озон, водена пара, јаглероден моноксид, јаглероден диоксид, честички прашина). Апсорпцијата зависи од дебелината на атмосферата низ која поминува зрачењето (воздушна маса), т.е. од периодот на денот и годината, како и од географската ширина и должина на локацијата на која се мери сончевото зрачење. Колку што правецот на сончевите зраци отстапува од вертикалата, толку и нивниот пат низ атмосферата е подолг, па доспеаната моќност на Земјата е помала. При проектирање на сончевите енергетски системи важно е познавањето на позицијата на сонцето во кој било дел од денот и кој било период во годината.

За практично користење на сончевата енергија важни се податоците кои се однесуваат на траењето на зрачењето (инсолација) и енергијата на вкупното (глобално) и дифузно зрачење врз хоризонтална површина.

Сончевата енергија која доспева на Земјата претставува електромагнетно зрачење кое може да се претвори во други форми на енергија: топлинска, хемиска, механичка, електрична. За сега, најуспешно е нејзиното претворање во топлинска енергија.

Претворањето на сончевата енергија во топлина е едноставен физички процес: зрачењето директно се апсорбира во разни материјали, при што апсорбираната енергија во најголем дел се претвора во кинетичка енергија на електроните и во вибрации на атомите на материјалот од кој е направен апсорберот. А тоа се манифестира како негово загревање. Уредите во кои се одвива овој процес се нарекуваат приемници или *колектори на сончева енергија*. Според конструкцијата и принципот на работа, се разликуваат два основни вида колектори: рамни колектори и концентратори на сончевото зрачење. И двата вида имаат повеќе различни конструктивни решенија. Кога сончевото зрачење ќе падне на некој апсорбер, еден дел ќе се апсорбира, а друг ќе се рефлектира.

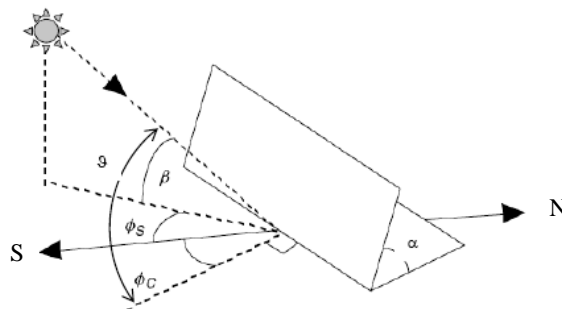


Сл.5.9. Апсорпција и рефлексија на сончево зрачење: 1) сончево зрачење, 2) апсорбирано зрачење, 3) рефлектирано зрачење, 4) апсорбер

Вкупниот сончев флуks, кој удира во некој сончев колектор, претставува комбинација од три компоненти: директно зрачење кое пристигнува во права линија од сонцето до колекторот, дифузно зрачење кое е расеано во атмосферата поради присутните молекули на разни гасови и аеросоли и рефлектирано зрачење од површината на земјата и други површини кои се наоѓаат пред колекторот.

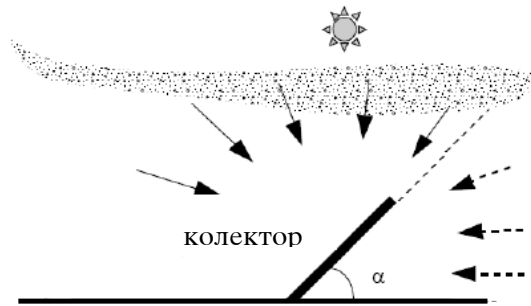
Колкав дел и која компонента на сончевото зрачење прима некој сончев систем (колектор), зависи од типот на сончевиот систем. Сончевите колектори кои користат концентратори за фокусирање на зрачењето го користат само директното зрачење, додека, на пр., повеќето фотонапонски системи не користат уреди за фокусирање, па сите три компоненти на сончевото зрачење придонесуваат при конверзијата на зрачењето во електрична енергија.

Просечно, на површината на Земјата, само половина од вкупното сончево зрачење пристигнува во облик на директно зрачење.



Сл.5.10. Директно сончево зрачење врз сончев колектор во зависност од позицијата на колекторот и зракот кој паѓа

До колекторот доспева и дел од вкупното дифузно зрачење. Така, ако колекторот е поставен хоризонтално, го прима вкупното дифузно зрачење, а ако е поставен вертикално, прима половина од таа вредност.

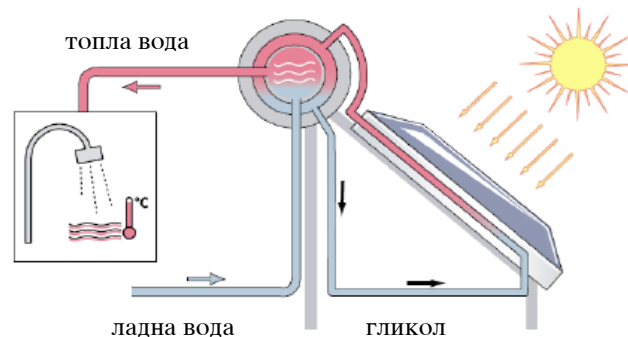


Сл.5.11. Дифузно зрачење врз сончев колектор

Системите за добивање топла санитарна вода најчесто користат рамни колектори со природна или принудна циркулација на работниот флуид. Во зависност од конструкцијата, системите можат да бидат директни (отворени, проточни) или индиректни (затворени, циркулациони).

### 5.5.1. Сончеви системи со природна циркулација на флуид

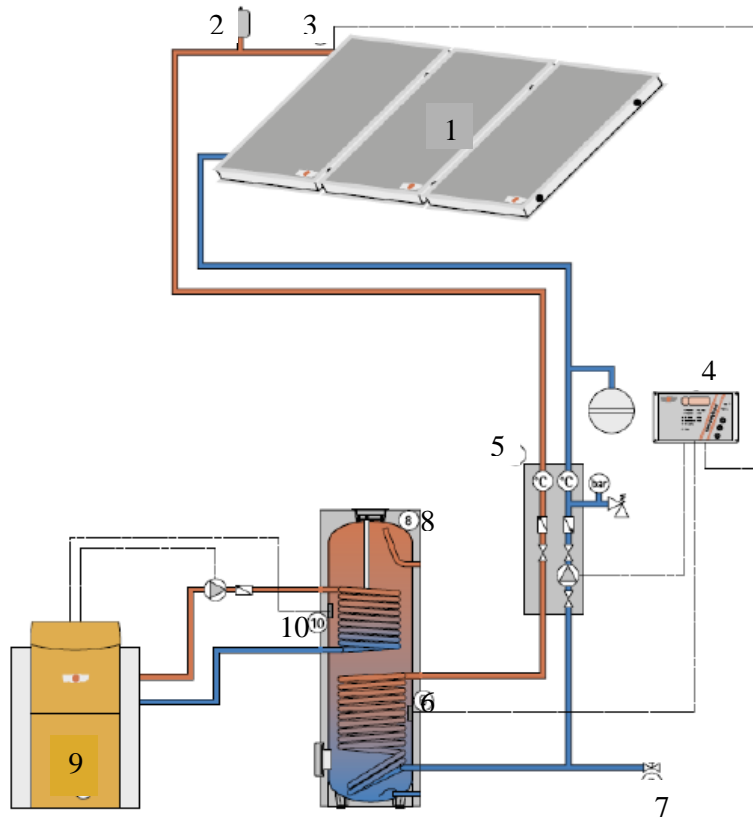
Проточниот систем, познат уште како термосифонски, е наједноставниот и најевтин начин за подготовка на топла вода. Работи врз принцип на искористување на разликата во густините помеѓу ладна и загреана течност и на дејствувањето на гравитацијата. Загреаниот флуид, поради помалата густина (и релативната маса), се подига нагоре од колекторот кон резервоарот, каде што му ја предава топлината на водата која тече во одвоен циркулационен круг од водоводна мрежа. Притоа флуидот се лади, му се зголемува густината и тој повторно се враќа во колекторот. Со тоа се воспоставува циркулација на флуидот без потреба од циркулациона пумпа и дополнителни контролни уреди. Како флуид, поради можност од мрзнење, се користи антифриз (гликол). Во периодите на помал интензитет на сончево зрачење, постои можност за вградување на електричен грејач заради догревање на водата. Типичен сончев систем за задоволување на 90 – 100% од потребите за топла вода на просечно семејство, во летните месеци, има колектор со површина 3 – 4 m<sup>2</sup> и резервоар од 150 – 200 литри.



Сл.5.12. Сончев систем со природна циркулација на течност

### 5.5.2. Сончеви системи со принудна циркулација на флуид

Основни компоненти на сончевите системи со принудна циркулација на флуид (сл.5.13) се: сончев колектор (1); резервоар (8) со изменувач на топлина (6); циркулациона пумпа со арматура (5) и контролен уред (4).



Сл.5.13. Сончев систем за санитарна топла вода со принудна циркулација на флуид

Како дополнителен извор на топлина, во периодите кога нема сончево зрачење, може да се користи електричен грејач кој се сместува во резервоарот за топла вода, или дополнителен котел кој согорува нафта или природен гас (9). Циркулацијата на водата меѓу котелот и резервоарот се остварува со циркулациона пумпа. Контролниот уред (4), кој всушност е диференцијален термостат со потребна автоматика, ја контролира работата на пумпата (5). Таа се вклучува кога разликата на температурите на водата во колекторот и резервоарот ќе ја надмине зададената вредност (обично  $5 - 15^{\circ}\text{C}$ ).

### 5.5.3. Сончеви електрични центри

За трансформација на енергијата на сончевото зрачење во топлинска енергија со температури повисоки од 400°C се користат сончеви системи со концентратори на сончевото зрачење. Оваа енергија понатаму може да се трансформира во други типови енергија (механичка, електрична).

Постојат повеќе различни изведби на сончеви термоенергетски постројки, но сите се состојат од три основни подсистеми:

- подсистем за трансформација на сончевото зрачење во топлинска енергија (колекторско поле со или без акумулатор на топлина),
- подсистем за трансформација на топлинската енергија во електрична,
- подсистем за ладење и предавање на топлината кон околната средина.

Во колекторското поле се врши претворување на сончевото зрачење во топлинска енергија која со помош на флуид за транспорт на енергија се акумулира или директно се пренесува во изменувач на топлина. Испарениот флуид се пренесува во некој вид термички мотор, односно парна турбина каде топлинската енергија се трансформира во механичка, која понатаму може да се користи за придвижување на електрични генератори, пумпи, компресори или други уреди.

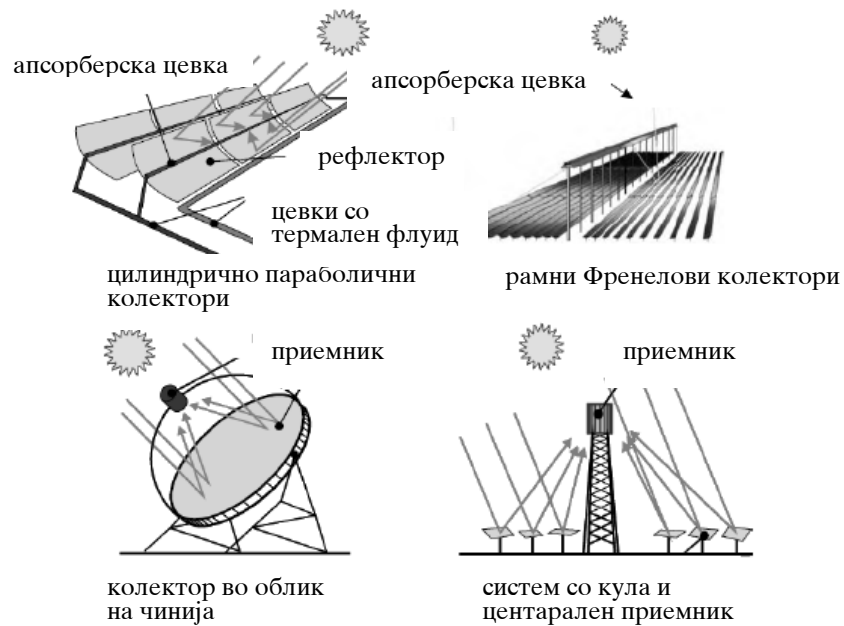
Во зависност од обликот на огледалните површини, сончевите системи со концентрирање на сончевото зрачење можат да се поделат на:

- системи со цилиндрично параболични колектори,
- системи во вид на кула со централен приемник,
- системи со концентратор во вид на чинија,
- линеарен Френелов рефлекторски систем.

Сончевите системи со *цилиндрично параболични колектори* работат при температури на работниот флуид од 150–400°C. Сончевото зрачење се насочува кон приемникот со помош на рефлектор кој, обично, се изработува од стакло на кое од задната страна има нанесено слој на сребро за да се постигне подобар коефициент на рефлексija.

Сончевите постројки со *централен приемник* вршат оптичка концентрација на сончевото зрачење во приемник поставен на врвот од кула. Во приемникот сончевото зрачење се трансформира во топлинска енергија која загрева флуид за транспорт на топлина. Топлинската енергија најпрво се акумулира, а потоа се претвора во електрична енергија.

Сончевите системи со *концентрирајтори во вид на чинија* го фокусираат сончевото зрачење, при што во фокусната точка на концентраторот се наоѓа приемник во комбинација со топлински мотор и електричен генератор.



Сл.5.14. Сончеви системи за високотемпературна конверзија на сончево зрачење

#### 5.5.4. Фотоволтаична конверзија на сончевото зрачење

Кај фотонските уреди главна улога има основната светлинска честичка – фотонот. Тие се делат во три групи:

- светлински извори кои трансформираат електрична енергија во оптичко зрачење – LED диода и ласери,
- детектори на оптички сигнали – фотодетектори,
- уреди што трансформираат оптичко зрачење во електрична енергија – фотоволтаични уреди или сончеви ќелии.

Фотоволтаичната конверзија претставува директна трансформација на светлосната енергија во електрична, а материјалите или уредите со чија помош се врши конверзијата се познати како сончеви ќелии, фотоволтаици, фотоелементи и др. За претворање на сончевото зрачење во електрична енергија можат да се искористат неколку физички ефекти. До сега најдобри резултати се постигнати со користење на исправувачкото својство на полупроводничкиот  $p - n$  спој.

Според многу свои особини, фотоволтаичната конверзија претставува најелегантен извор на електрична енергија:

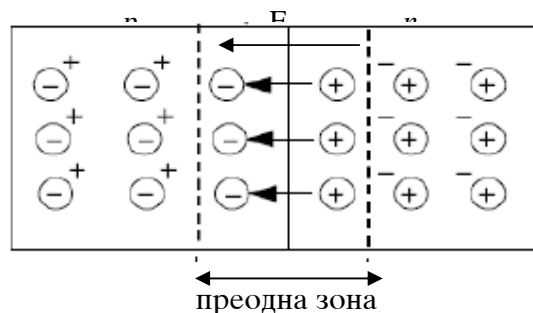
- директно претворање на сончевото зрачење во електрична енергија со еден физички процес,
- работа базирана исклучиво врз електроника, без какви било подвижни делови,

- отсуство на какви било продукти кои би ја загадувале човековата околина,
- долг век на траење,
- едноставна конструкција и занемарливо мала маса од која е направен генераторот,
- евтина и широко достапна суровина за изработка.

Фотоволтаичниот ефект, генерирање на напон кога елемент е изложен на светлина, откриен е од Бекверел во 1839 година кај спој формиран од електрода и електролит. Оттогаш се пријавени повеќе примери за слични ефекти за различни цврсти елементи. Првиот фотоволтаичен ефект на генерирање на напон е истражуван врз силициумски *p-n* спој во 1940 година. Неколку години подоцна претставен е и фотоволтаичниот ефект на германиумот. До 1954 година сончевата ќелија не предизвикува голем интерес, сè до претставувањето на работата на силициумските сончеви ќелии со единечен кристал, како и на работата на кадмиум сулфидните ќелии. До денес, сончевите ќелии се прават кај многу други полупроводници, користејќи различни конфигурации и воведувајќи единечен кристал, поликристал и аморфни структури со тенки филмови.

Основните потреби на сончевите ќелии се високата ефикасност и ниската цена. Досега со голем успех се претставени многу конфигурации на сончеви ќелии. Сепак, за да имаат сончевите ќелии сериозен удел во производството на вкупната потрошувачка на енергија, е потребен дополнителен предизвик, а целта ќе се постигне според многумина.

За полупроводничката електроника посебно се интересни и најважна е примената на структурите кои се засниваат на спојот меѓу *p* и *n* типот на полупроводници. Тој спој се остварува со помош на различни технолошки постапки, при што еден дел од полупроводникот е неистисчен од донорските примеси, а другиот од акцепторските примеси. *P-n* спојот има својство кое е значајно при неговата примена за фотоволтаичната конверзија. Се состои во спонтаното воспоставување на електричното поле помеѓу *p* и *n* зоните како резултат на стремезот на електроните да воспостават иста просечна густина во сите делови на кристалот преку процесот на дифузија. Така, од *n* зоната електроните преминуваат во *p* зоната, а истото важи и за празнините, само во спротивна насока. Како резултат на ова дифузно движење, на *p-n* спојот се формира преодна зона која на *p* страната е наелектризирана негативно, а на *n* страната е наелектризирана позитивно (сл.5.15).

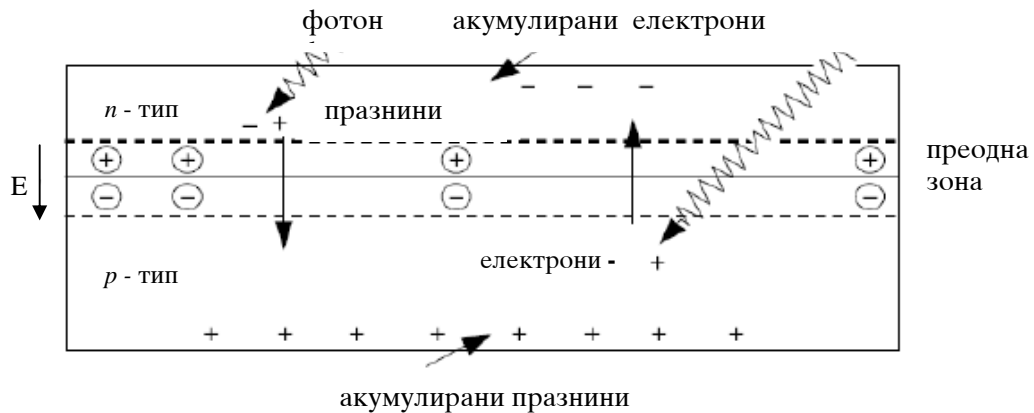


Сл.5.15. Распределба на струјните носители во *p-n* спојот

Ваквата прераспределба на струјните носители предизвикува појава на внатрешно електрично поле и контактен потенцијал помеѓу  $p-n$  зоната. Под дејство на оваа потенцијална бариера која се противи на преоѓањето на нови електрони се спречува натамошното дифузно движење на електроните. Преодната зона, каде што се формира контактниот потенцијал, има многу мала широчина (околу  $1 \mu\text{m}$ ), а напонот е приближно еднаков на ширината на забранетата зона на материјалот.  $P-n$  спојот всушност формира полупроводничка диода. Нејзиното исправувачко својство овозможува појава на електрична струја низ диодата ако таа е приклучена на напон.

Сончевата ќелија всушност претставува полупроводничка диода со голема површина. Фотоелектричен ефект се јавува кога ќелијата ќе се изложи на сончево зрачење. Квантите на светлина (фотони) со доволна енергија создаваат парови електрон-празнина на двете страни од  $p-n$  спојот (сл.5.16).

Електричното поле воспоставено во преодната зона или во нејзината близина ги раздвојува електроните и празнините. Притоа, електроните се движат кон страната  $n$ , а празнините кон страната  $p$ . Како резултат на ова движење, на краевите на сончевата ќелија се јавува потенцијална разлика, односно напон, а исто така се намалува контактниот потенцијал на  $p-n$  спојот. На тој начин се воспоставува нова рамнотежна состојба на  $p-n$  спојот со потенцијалната разлика на неговите краеве, која зависи од интензитетот на сончевото зрачење. Ако на краевите од сончевата ќелија се приклучи потрошувач, низ него ќе протече струја.



Сл.5.16. Фотоволтаичен ефект кај  $p-n$  спој

Основни дизајни на сончевите ќелии се:

*Кристалино силициумска сончева ќелија*

Денес, овој вид ќелија ужива најголем успех на пазарот. Таа се карактеризира со разумен баланс помеѓу цената и перформансите. Нејзината најдобра забележана ефикасност достигнува вредност поголема од 22%. Главниот удел на цената паѓа врз кристалниот супстрат и затоа истражувачите вложуваат големи напори за намалување на неговата цена. Наместо регуларна прачкаста форма, кристалот е провлечен во тенка плоча со многу мала дебелина со што се намалува неговата цена. За да се намали одбивањето на светлината, се



користи текстурна површина на предниот или на задниот дел од ќелијата. Бидејќи сончевите ќелии се електрични елементи и спроведуваат високи струи, врз нив се нанесува тенок слој метал и на тој начин се овозможува намалување на цената.

#### *Сончеви ќелии со тенки филмови*

Кај сончевите ќелии со тенки филмови, активните полупроводливи слоеви се поликристален или растопен филм. Тие слоеви се наталожени или формирани врз база на електрично активни или пасивни супстрати како што се стаклото, пластиката, керамиката, металот, графитот итн. Тенок полупроводлив филм може да се нанесе врз надворешен супстрат преку најразлични методи. Ако дебелината на полупроводникот е поголема од должината на апсорпцијата, ќе се апсорбира најмногу светлина. Најчести и најуспешно користени слоеви филм се: Si, CdTe, CdS и др. Тие имаат достигнато ефикасност над 15%. Основната предност на овие ќелии е малата цена поради евтино-то процесирање и користењето на релативно евтини материјали. Главниот недостаток е малата ефикасност и долгорочната нестабилност, која се јавува како резултат на хемиските реакции на полупроводникот со кислородот и водената пара од околината. Многу проучуван материјал за сончеви ќелии со тенки филмови е аморфниот силициум.

#### *MIS (метал–изолатор–полупроводник) сончеви ќелии*

Кај MIS – сончевата ќелија, помеѓу металот и површината на полупроводникот се нанесува тенок изолаторски филм. Предностите на MIS – сончевата ќелија се тоа што вклучуваат електрично коло кое се протега до површината на полупроводникот во таа насока што помага при собирањето на носителите кои се генерирани од светлина со мала бранова должина. Исто така, предност е тоа што активниот регион на самата MIS – ќелија е изолиран од дифузни кристални оштетувања кои се неразделен дел од дифузните ќелии со *p-n* спојот.

#### *Сончеви ќелии со повеќе слоеви*

Овие сончеви ќелии имаат поголема ефикасност бидејќи вклучуваат помалку неискористени фотони. Експериментално за кристалните сончеви ќелии, ќелиите со три споеви базирани врз составни полупроводници од GaAs/InGaAs и InGaP/InGaAs/Ge, се карактеризираат со ефикасности поголеми од 30% што е најголем забележан резултат за која било структура. За ќелиите со повеќе споеви покажано е дека имаат поголеми ефикасности отколку нивните соодветни ќелии со еден спој.

#### *Оптичка концентрација*

Сончевата светлина се насочува со користење на огледала и леќи. Оптичката концентрација нуди флексибилен пристап за намалување на цената на леќата преку воведување на концентратор наместо поголем дел од самата ќелија. Таа нуди и други предности, вклучувајќи зголемена ефикасност на ќелијата, хибридни системи кои даваат електрични и термички излези и

намален коефициент на ќелија-температура. Во стандарден модул на концентратор, огледалата и леќите се користат за да се насочи и фокусира сончевата светлина врз сончевите ќелии поставени на блокови со водено ладење.

Во денешно време, сончевите ќелии претставуваат најважни и долго-трајни елементи за напојување кои наоѓаат примена како во мали размери на Земјата, така и во вселената, како, на пример, кај вселенските летала. Со порастот и побарувачката на енергија во светски рамки, секојдневните енергетски ресурси, како што се фосилните горива, се очекува да се исцрпат до наредниот век. Затоа треба да се развијат и да се користат алтернативни енергетски ресурси, особено единствениот долгорочен природен ресурс – сонцето.

Сончевата ќелија се смета за главен снабдувач на енергија од сонцето, бидејќи сончевата светлина може директно да ја конвертира во електрицитет со висока ефикасност на конверзија. Таа може да овозможи речиси перманентна електрична енергија при ниска работна цена и во суштина не претставува никаков фактор за загадување на природата.

Единствен недостаток кој ја спречува масовната употреба е сè уште високата цена на производство, но постојаното усовршување на технологијата и масовното производство драстично ги намалува производните трошоци.

Од неодамна се забележува пораст во истражувањето и развојот на сончеви рамни панели со ниска цена на чинење, елементи со тенки филмови, концентраторни системи и многу други иновативни концепти. Во блиска иднина, цената на малите сончево-енергетски модуларни единици и сончево-енергетски постројки ќе биде економски изводлива за производство во големи размери и за користење на сончевата енергија.

## 5.6. ЕНЕРГИЈА ОД ВЕТЕР И НЕЈЗИНО ИСКОРИСТУВАЊЕ

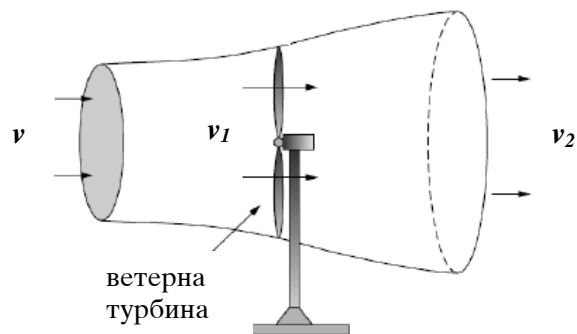
Вообичаено, под поимот ветер се подразбира хоризонталната (или приближно хоризонталната) компонента на струењето на воздухот во атмосферата. Главен фактор за настанување на струењето е различната брзина на загревање и ладење на воздухот над нехомогена површина. Тоа предизвикува различни притисоци и температури во одредени делови од атмосферата и до појава на природен процес кој настојува да ги изедначи. Кога овој градиент на притисоци има хоризонтална компонента, тогаш настанува ветер. Неговата јачина е сразмерна на тој градиент, а насоката му е од подрачјето со повисок кон подрачјето со понизок притисок.

Енергијата на ветерот е, всушност, енергија на сончево зрачење, трансформирана во кинетичка енергија на подвижните воздушни маси во атмосферата. Се проценува дека околу 1–2% од вкупната енергија на сончевото зрачење што доспева на Земјата се претвора во кинетичка енергија на атмосферата. Тоа значи дека само технички искористливиот дел од енергијата на ветерот е неколку пати поголем од вкупните денешни потреби од електрична енергија во светот.

Ветерот спаѓа во групата на стохастички појави во природата. Под влијание на временските прилики, локалниот релјеф и висината над тлото, ветерот постојано го менува својот интензитет и својата насока, па затоа и не е можно точно да се предвиди. Меѓутоа, познавањето на прецизните податоци

за брзините на ветерот на некоја локација е од пресудно значење кога се проценуваат нејзините ветерни енергетски потенцијали. За таа цел се користат или метеоролошки податоци, или се прават наменски мерења на брзините и фреквенцијата на појавата на ветерот за подолг временски период (најмалку една година).

Конверзијата на кинетичката енергија на ветерот во механичка енергија на вртливо движење се врши во ветерна турбина. Пред турбината ветерот има брзина  $v$ . Минувајќи низ неа со брзина  $v_1$ , дел од својата енергија ја предава на ветерната турбина, така што од турбината излегува со намалена брзина  $v_2$  и намален притисок. Јасно е дека целата енергија на ветерот не може да се пренесе на турбината бидејќи тоа би значело дека брзината на ветерот после турбината треба да биде нула т.е. дека не постои проток на воздушна маса. Исто така, ако брзината на ветерот пред влегувањето и по излегувањето од турбината е иста, тогаш никаква енергија не се предава на ветерната турбина. Овие две крајни состојби сугерираат дека постои некое оптимално намалување на брзината на ветерот кое продуцира максимална моќност на ветерната турбина.



Сл.5.17. Искористување на кинетичката енергија на ветерот во ветерна турбина

### 5.6.1. Ветерни електрични центри (ветерници)

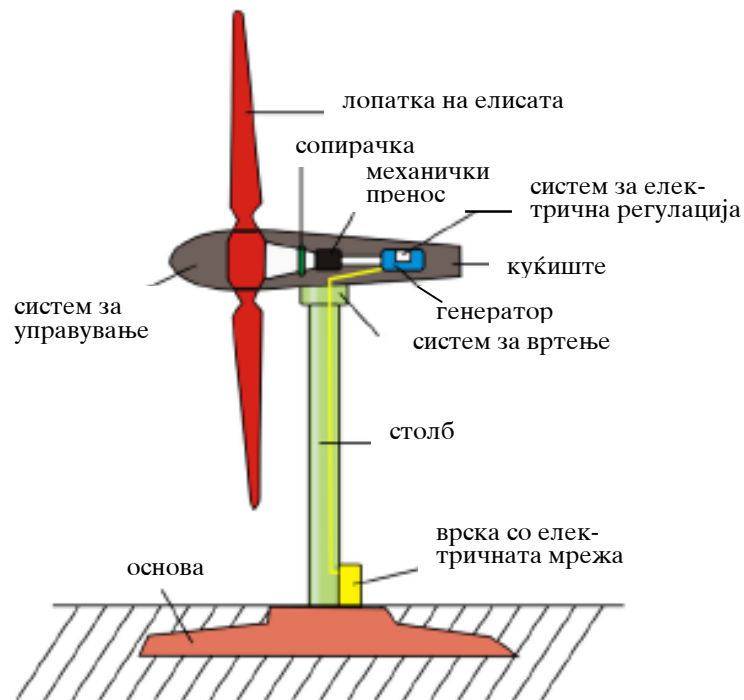
Служат за претворање на енергијата на ветерот во механичка работа и за добивање на електрична енергија. Иако претставуваат најстар тип машина за искористување на природната сила, до денес уште не достигнале конструктивна зрелост. Законите на физиката наметнуваат многу органичувања. Теоретски може да се покаже дека моќноста на идеалната ветерница е 59% од вкупната моќност на ветерот кој струи низ површината на лопатките на ветерницата. Добро конструираните ветерници користат максимално  $3/4$  од идеалната сила.

$$P = 0,75Ni = 0,05\rho^3 D^2 W^3$$

$W$  – брзина на ветерот,  $\rho$  – густина на воздухот,  $D$  – широчина на лопатките

Според тоа, максималната сила ќе ја имаат ветерниците чија широчина на лопатките одговара на максималната можна обемна брзина земајќи ги предвид карактеристиките на употребуваниот материјал, при што треба да се води сметка и на силните ветрови. Денес оваа граница достигнува и до 60 m, имајќи предвид дека поради фреквенцијата на струјата во електрична мрежа (50 Hz) брзината на ротацијата на лопатките треба да биде што е можно поголема за да се избегне употребата на големи и скапи запчести редуктори. Практично, елисата затоа има 2 или највеќе 3 лопатки. Познато е дека ветерот е јак и рамномерен доколку висината над земјата е голема. Меѓутоа, со висината на столбовите на ветерниците растат инвестиционите трошоци. Со оптимизација се доаѓа до висина помеѓу 30 и 45 m за региони со поволен ветер.

Поради потребите на работа во оптимален режим, одржувањето на фреквенцијата и другите фактори, брзината на вртењето на ветерницата треба да е константна, тоа значи дека елисата треба да биде со променлив чекор. На ова треба да се додадат и проблемите во врска со непостојан ветер.



Сл.5.18. Ветерна турбина

Ветерниците, најдобро се користат како дополнителен агрегат, покрај постојан извор на енергија. Доколку ова треба да биде основен снабдувач, мора да се обезбеди акумулација на енергијата, што ја зголемува инвестицијата. Оптималната сила на ветерниците денес е околу 1 MW со елиса со ширина околу 35 m. Ваква ветерница, на поволна локација, годишно може да произведува енергија околу 1000 MWh, а тоа е околу 12% искористување на капацитетот. Затоа, примената на ветерници има само локално значење за индивидуално домаќинство, со мала перспектива за широка примена во големата енергетика.

## 5.7. ЕНЕРГИЈА ОД БИОМАСА И НЕЈЗИНО ИСКОРИСТУВАЊЕ

Биомаса претставува органска материја и во својот состав содржи органски соединенија. Органската материја може да биде составена од најразлични органски соединенија и со нејзино разградување се добиваат продукти кои може да се искористат како биогориво. Постојат повеќе видови биогорива кои може да се добијат со преработка на биомасата, а најчесто употребувани биогорива се: биогаз, биодизел и биоетанол.

*Биогаз* е биогориво во гасовита состојба и се добива со анаеробно разградување, односно анаеробна ферментација на органски материи. За производство на биогаз се користат отпадни органски материи, како што се ѓубривата, канализацискиот талог, шталското ѓубриво, комуналниот отпад или кој било друг разградлив отпад.

Биогазот главно се состои од метан и јаглороден диоксид. Во поново време сè повеќе се работи на усовршување на технологиите за добивање на биогаз бидејќи органскиот отпад е најисплатлива суровина за производство на биогориво.

*Биодизелот* се добива со трансестерификација на екстрахирани и рафинирани растителни масла во присуство на метанол и натриумов хидроксид како катализатор. За производство на биодизелот најчесто се користат маслодајната репка, сончогледот, сојата, алгите и други растенија кои во својот состав содржат големо количество на растителни масла.

Според хемискиот состав, биодизелот е метилестер на масните киселини и при неговото согорување се ослободува  $\text{CO}_2$ , а споредни продукти при процесот на негово согорување се глицеринот, масните киселини и лецитинот кои наоѓаат примена во фармацевтската и козметичката индустрија.

За разлика од конвенционалниот дизел, биодизелот не содржи ароматични токсични соединенија, како бензинот и нафтените деривати, а исто така не содржи сулфур, олово и азотни соединенија, па затоа претставува еколошко гориво бидејќи со неговото согорување не се загадува животната средина.

Биодизелот има слична енергетска вредност и вискозност како и конвенционалниот дизел и најчесто се меша со него. Како чист биодизел поретко се употребува поради сè уште високата цена на производство.

*Биоетанолот* е биогориво кое може да се произведе од најразлични растенија кои содржат големо количество на јаглехидрати. За производството на биоетанолот најчесто се користат шеќерната репка, житото, шеќерната трска и пченката.

Биоетанолот се добива со алкохолна ферментација на шеќерите во присуство на квасци, а потоа следи процесот на негово прочистување. При производството на биоетанолот се добива спореден продукт кој содржи до 30% протеини и може да се искористи и како сточна храна.

Биоетанолот се користи и како гориво, помешан со бензин во различни концентрации или неразреден. Најголем светски производител на биоетанол е Бразил. Таму шеќерната трска се користи како растителна суровина за производство на биоетанолот.

## 6. ИЗВОРИ НА ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА

Изворите на електрична енергија се употребуваат за трансформација на некој друг вид енергија во електрична енергија, односно во електрична струја.

### 6.1 ХЕМИСКИ ИЗВОРИ НА ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА

Хемиските извори на електрична енергија се нарекуваат батерии. Батерија претставува една или повеќе електрохемиски ќелии кои имаат способност да ја зачуваат хемиската енергија и да ја прават достапна како електрична струја. Постојат повеќе видови електрохемиски ќелии : галвански ќелии, електролитски ќелии, горивни ќелии, течни ќелии, волтини ќелии и др. Карактеристиките на батеријата може да варираат како резултат на повеќе фактори, вклучувајќи го внатрешниот состав на батеријата, протокот на струјата и температурата.

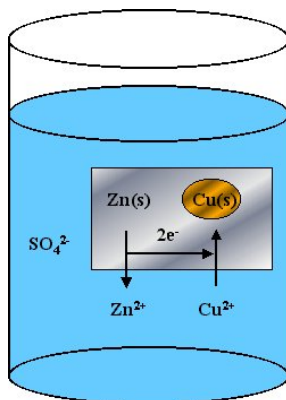
Постојат два вида батерии: примарни и секундарни. Примарните батерии се со еднократна примена бидејќи тие ги употребуваат нивните хемикалии во неповратни реакции. Секундарните батерии се обновливи бидејќи имаат можност за повторно полнење.

#### 6.1.1. Галванска ќелија

Хемиските трансформации на супстанциите во галванската ќелија можат да се искористат за надворешен проток на електрична струја, која пак може да изврши електрична работа. Галванската ќелија се состои од две полуќелии, поврзани со електролитен мост и со спроводник од прв ред. Во секоја полуќелија е поставена метална прачка потопена во раствор на електролит. Металните прачки потопени во електролитните раствори се нарекуваат електроди. Постојат повеќе видови галвански ќелии во зависност од тоа од каков метал е електродата и во кој електролитен раствор е потопена.

Ќе разгледаме еден едноставен пример:

При реакција на метален цинк со раствори на киселини, каде има протони поради дисоцијацијата на киселината, се издвојува елементарен водород, а тоа не се случува при реакција со метален бакар. Металниот цинк е силен електрон-донор, а бакарните јони се силен електрон-акцептор. Реакцијата во која металниот цинк се оксидира а бакарните јони се редуцираат, се одвива спонтано. Од овие причини, ако се постави цинкова прачка во раствор на бакарни јони, таа ќе започне да се растворува, т.е. цинкот од цврст метален цинк ќе премине во цинкови јони, односно ќе оксидира, а при тоа ќе започне и таложеење на метален бакар на цинковата прачка, што значи бакарните јони ќе се редуцираат и ќе преминат во метален бакар (сл. 6.1).



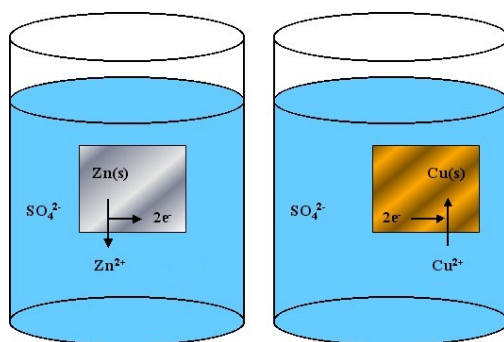
Сл.6.1.Процес на оксидација и редукција

Размената на електроните меѓу цинкот и бакарните јони може да биде искористена за добивање на електрична струја, при што е неопходно двата редокс пара да бидат физички раздвоени, односно реакцијата на оксидација и редукција да се одвиваат во различни раствори.

Кога метал ќе биде потопен во раствор што ги содржи јоните на металот започнуваат да се одвиваат два процеси: преод на јоните на металот од металната кристална решетка во растворот и преод на јоните на металот од растворот во металната кристална решетка. При тоа ќе се воспостави хемиска рамнотежа.

Ако во раствор на  $ZnSO_4$  се потопи цинкова прачка, таа ќе почне да се раствора, односно ќе настане преод на цинковите јони од кристалната решетка на металниот цинк во растворот во кој е потопена прачката. Така, металот би добил вишок негативен полнеж, а растворот вишок позитивен полнеж, што значи дека металот има негативен електричен потенцијал во однос на растворот. Кај металите со понегативен електричен потенцијал во металната кристална решетка се очекува да се појави вишок електрони, односно повеќе електрони отколку што одговараат на присутните атоми на металот во решетката, а во растворот да се појави вишок на метални катјони, односно повеќе катјони отколку што одговараат на присутните анјони. Така, металот би добил вишок на негативен полнеж, а растворот вишок на позитивен полнеж. Во тој случај металот има негативен електричен потенцијал во однос на растворот.

Овој процес е идентичен на процесот на оксидација на елементарниот цинк, без при тоа да се случи редукција на некоја друга супстанција.



Сл.6.2. Процеси на оксидација и редукција

Доколку во раствор на  $\text{CuSO}_4$  се потопи бакарна прачка, ќе настане обратен процес, односно преод на бакарните јони од растворот во кристалната решетка на бакарната прачка, а тоа значи дека бакарот има позитивен електричен потенцијал во однос на растворот.

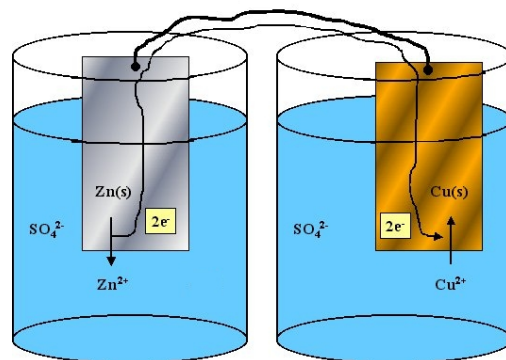
Кај металите кои имаат позитивен електричен потенцијал во однос на растворот во металната кристална решетка би се појавил вишок метални катјони, односно повеќе метални катјони отколку што одговараат на присутните електрони во решетката, а во растворот би се појавил недостиг на катјони, односно вишок анјони т.е. повеќе анјони отколку што одговараат на присутните катјони. Така, металот би имал вишок позитивен полнеж, а растворот вишок негативен полнеж.

Цинковата прачка има тенденција да испушти цинкови јони во растворот, а бакарната прачка има тенденција да прими бакарни јони од растворот.

Колку што е понегативен потенцијалот на металот во однос на растворот на неговите јони, толку е понагласена тенденцијата на металот да испушта електрони и да преминува во јонски облик односно, соодветниот метал е посилено редуциско средство. Бидејќи металот е силно редуциско средство, неговите јони се слабо оксидациско средство.

Додека пак, колку што е попозитивен потенцијалот на металот во однос на растворот на неговите јони, толку е понагласена тенденцијата металните јони од растворот да примаат електрони и да преминуваат во металната кристална решетка, што значи дека металните јони во растворот се посилено оксидациско средство, а металот е слабо редуциско средство.

Воспоставувајќи електрична врска помеѓу двете метални плочки (сл.6.3), се чини дека електроните ќе почнат да патуваат од цинковата кон бакарната плочка и низ жицата ќе потече мерлива електрична струја. Протокот на електрони трае многу кратко време и тој процес се одвива во толку мал степен, што низ жицата не може експериментално да се детектира течење на електрична струја бидејќи вишокот на полнежи во растворите се спротивставува на преодот на електроните.



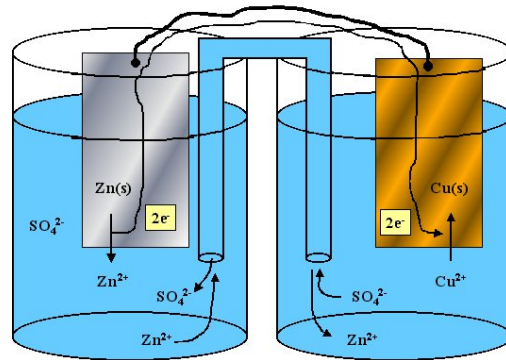
Сл.6.3. Преод на електрони од цинковата кон бакарната прачка

Вишокот позитивен полнеж во растворот на  $\text{ZnSO}_4$  се спротивставува на одведувањето на електроните од цинковата прачка, а вишокот негативен полнеж во растворот на  $\text{CuSO}_4$  се спротивставува на доведувањето на електроните на бакарната прачка.

За да започне континуиран проток на електрони низ жицата, неопходно е во текот на процесот да се одржува електронеутралноста на растворите. Тоа



може да се постигне со поврзување на двата раствори преку цевка која содржи воден раствор на некој електролит и која овозможува премин на вишокот јони од едниот кон другиот раствор. Цевката што ги поврзува двата раствори и што содржи раствор на некој електролит се нарекува електролитен мост.



Сл.6.4. Галванска ќелија

Со тоа е овозможено вишокот анјони од растворот на  $\text{CuSO}_4$  да преминат кон растворот на  $\text{ZnSO}_4$  заради одржување на електронеутралноста.

Електронеутралноста на растворите се остварува и преку пренос на катјоните во спротивна насока. Така, во електролитниот мост, што ги поврзува двата раствори, се случува транспорт на јони и тоа: катјоните се движат кон страната каде што се случува процесот на редукција, додека анјоните се движат кон страната каде што се случува процесот на оксидација.

Целокупниот систем претставува хемиски извор на електрична струја и се нарекува галванска ќелија, односно галвански елемент (сл.6.4).

Во галванската ќелија, анодата, односно електродата на која се случува процесот на оксидација и кон која се движат анјоните, претставува негативна електрода додека катодата, односно електродата на која се случува процесот на редукција и кон која се движат катјоните, е позитивна електрода.

#### 6.1.1.1. Необновливи (примарни) батерии

Примарните батерии неповратно ја трансформираат хемиската во електрична енергија. Кога реактантите се потрошени, енергијата не може да биде создадена повторно во батериите. Примарните батерии се нарекуваат и обновливи батерии.

Историски гледано, некои видови примарни батерии, коишто биле употребувани во минатото (на пр., кај телеграфите), биле обновувани со замена на внатрешните елементи на батеријата.

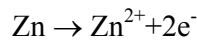
Необновливите батерии се наречени и примарни ќелии. Тие се употребуваат еднаш и потоа се фрлаат. Најчесто се употребувани во преносни апарати, каде што има мала потреба од енергија или пак таму каде што нема алтернативен извор на енергија.

Примарните ќелии наоѓаат примена во алармни и комуникациски апарати. Не се дизајнирани да бидат повторно полнети.

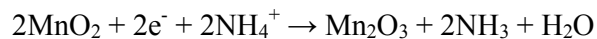
### Видови примарни батерии

Најчесто користени примарни (необновливи) батерии се:

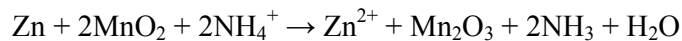
- Цинк-јаглеродни батерии кои содржат две електроди: едната од цинк, а другата јаглеродна помеѓу кои е поставен електролит. Како резултат на физичко-хемиските процеси кои се случуваат во електролитот, се јавува разлика на потенцијалот на позитивниот и негативниот пол на батеријата. Позитивниот пол е јаглеродната електрода на која е нанесен прав од  $MnO_2$ , а негативниот пол е цинковата електрода. Како електролит се употребува воден раствор од амониумов хлорид и цинков хлорид. Со затворањето на струјниот круг помеѓу позитивниот и негативниот пол на батеријата се јавува анодна реакција на негативниот пол на батеријата:



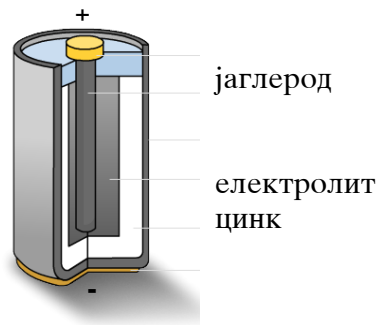
и катодна реакција на позитивниот пол:



Како резултат на двете хемиски реакции се добива:



На негативниот пол на батеријата се ослободуваат два електрони кои доаѓаат до позитивниот пол. Кога поголемиот дел од цинковата електрода ќе ги испушти своите електрони доаѓа до празнење на батеријата.



Сл.6.5. Цинк-јаглеродни батерии

- Цинк-хлоритната батерија има слични карактеристики на цинк-јаглеродната батерија, но е со подолг работен век.
- Алкалните батерии се познати како батерии со долг работен век, се употребуваат кај апаратите со голема потрошувачка и се произведуваат со почетен напон од околу 1,6 V.
- Сребро-кислородни батерии: најчесто се употребувани во слушни помагала, часовници и дигитрони.
- Литиум-железо-дисулфитни батерии најчесто се употребуваат во дигитални камери и во часовници. Имаат долг век на траење (до 10 год. во

рачни часовници) и се способни да достават високи струи но се со релативно висока цена на чинење. Може да се употребуваат и на температури под 0°C.

- Литиум-тионил-хлоридните батерии се употребуваат во индустриските објекти, кај компјутери, електромери и други направи, а ќелиите можат да бидат со различни големини и даваат околу 3,6 V. Тие се релативно скапи, но имаат долг век на траење губејќи околу 10% од нивната капацитативност за време од 10 години.
- Живините батерии се употребуваат во дигитални часовници, радиокомуникации и преносни електрични инструменти. Се произведуваат само за специјални потреби бидејќи содржат токсични материи.
- Цинк-воздушните батерии најчесто се употребуваат во слушни помагала.
- Термалните батерии се употребуваат на високи температури, скоро исклучиво за воени цели.
- Водено активираниите батерии се употребуваат во сонди.
- Никел-хидроксилните батерии се употребуваат во дигитални апарати и траат двапати подолго од алкалните батерии.

#### *Времетраење на примарна батерија*

Примарните батерии може да изгубат од 8% до 20% од нивниот оригинален напон секоја година на температура од околу 20 –30°C дури и ако не се отстранат од оригиналното пакување. Ова е познато како самопразнење што се јавува како резултат на хемиските реакции во батериите кои не доведуваат до производство на електрична енергија.

Степенот на овие реакции се намалува ако батериите се чуваат на ниски температури, меѓутоа некои батерии можат да бидат оштетени ако се чуваат на температури под 0°C. За да се добие максимален напон кај батериите чувани на ниски температури, потребно е тие да бидат вратени на собна температура. Високите или ниските температури можат да ги намалат перформансите на батеријата, што влијае на почетниот напон на батеријата.

#### **6.1.1.2. Обновливи (секундарни) батерии**

Секундарните батерии можат да бидат повторно наполнети бидејќи хемиските реакции, што се одвиваат во нив се повратни, тие се полнат со пуштање на струја низ нив со спротивна насока од насоката на струјата што ја произведуваат самите батерии.

Секундарните батерии можат да се полнат и да се празнат многу пати пред да се оштетат. По оштетувањето некои батерии можат да бидат рециклирани. Секундарните батерии не може да се полнат бесконечен број пати поради губењето на дел од активните материјали, електролитите и поради внатрешната корозија. Направите коишто се користат за полнење на батериите се нарекуваат полначи.

### Видови секундарни батерии

- **Олово-киселинската батерија** е најстарата форма на батерија која може повторно да се полни и која сè уште се користи. Таа е многу тешка во споредба со електричната енергија што може да ја обезбеди. И покрај ова ниските трошоци за нејзиното производство доведуваат до тоа таа да е често употребувана таму каде што има потреба од голема капацитативност (10 Ah). Честа форма на олово-киселинската батерија е батеријата за автомобили (акумулатор). Оваа батерија може да обезбеди моќност од околу 10000 W за краток период и има јачина на струјата од 450 до 1100 A.



Сл.6.6. Олово-киселинска батерија

Акумулаторите се уреди кои најпрво ја претвораат електричната енергија во хемиска, а потоа хемиската енергија во електрична.

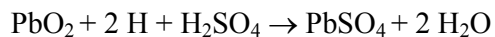
Основна задача на акумулаторот во моторното возило е да дава електрична струја на електричниот придвижувач за да може тој да изврши стартување на моторот. Освен тоа, акумулаторот служи за загревање на воздухот во возилото во зимскиот период, како и за работа на другите електрични потрошувачи на возилото, кога моторот не работи или кога работи со мал број на вртежи. Постојат два вида акумулатори: оловни и челични. Челичните акумулатори ретко се користат поради нивната голема маса и високата производна цена. Првиот оловен акумулатор бил изработен 1860 год., со прикладни димензии, задоволителен капацитет и со добри својства кои и до денешен ден останале непроменети.

Според напонот, акумулаторите може да бидат од 6 V, 12 V и 24 V. Главно се користат акумулатори од 12 V, а поретко се изработуваат акумулатори од 24 V бидејќи е попрактично и порационално да се спојат два акумулатори од по 12V. Акумулаторот се состои од: кутија со прегради, позитивни и негативни плочи, сепаратори, мостови за спојување на ќелиите и приклучоци на половите од акумулаторот. Кутијата се изработува од тврда гума (ебонит) или од пластична маса со различни димензии. Материјалот од којшто е изработена кутијата треба да биде отпорен на хемиското дејство на сулфурната киселина, на зголемена температура и на механички удари. Кутијата е поделена на прегради во зависност од напонот на акумулаторот. На дното од преградите се поставени ребра на кои налегнуваат плочите помеѓу кои се собира талогот за време на хемискиот процес во акумулаторот. Ќелијата е основен елемент на акумулаторот. Секоја ќелија претставува посебен оловен акумулатор чиј напон е од 2,0 – 2,1 V, а капацитетот зависи од големината и од бројот на плочите. За акумулатор од 6 V, кутијата се изработува од 3 ќелии, а за акумулатори од 12 V, кутијата се изработува од 6 ќелии кои понатаму се врзуваат редно. Секоја ќелија се состои од одреден број на позитивни и негативни плочи, кои

меѓусебно се изолирани со сепаратори. Постојат плочи со различна форма и конструкција, меѓутоа најпогодни се решеткастите плочи. Тие се состојат од носач и активна маса, која се поставува во шуплините на носачот. Плочите се изработуваат од тврдо олово во вид на мрежа во која се поставува активната маса. Активната маса на негативните плочи е чисто порозно олово, додека активната маса на позитивните плочи е оловен оксид. Сите позитивни плочи во една ќелија се поврзуваат преку оловен мост, исто како и сите негативни плочи. За да се спречи меѓусебното допирање на плочите, помеѓу нив се поставуваат сепаратори. Сепараторите се изработуваат од материјали кои не ја спроведуваат електричната струја и се порозни. Најчесто се изработуваат од микропорозна или перфорирана пластична маса. Кај поновите оловни акумулатори спојувањето на ќелиите се изведува директно низ преградите на ќелиите и кај нив нема отвори за налевање на електролитот. Позитивниот пол од една ќелија се поврзува со негативниот пол од соседната ќелија и така сè до последната ќелија, при што остануваат слободни само два пола, еден позитивен и еден негативен, кои претставуваат главни полови на акумулаторот. Потрошувачите се поврзуваат за акумулаторот со приклучници, чија функција е да остварат цврст контакт со половите. Плочите во ќелијата се потопени во електролит. Електролитот се состои од 20 – 30% разблажена сулфурна киселина со дестилирана вода. Од густината на електролитот зависи точката на мрзнење.

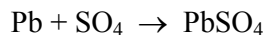
Акумулаторот е направа која може да дава или да прима електрична струја како резултат на хемиските реакции помеѓу активната материја на плочите од акумулаторот и сулфурната киселина од електролитот. Работата на акумулаторот се состои во постојано полнење и празнење на електричната струја. За време на работата, во акумулаторот се вршат повратни (реверзибилни) хемиски реакции меѓу оловните плочи и електролитот.

За време на празнењето, оловниот оксид од позитивните плочи се претвора во оловен сулфат, а електролитот во вода. Хемиската реакција која се одвива на позитивниот пол за време на празнењето на акумулаторот е:



Негативните плочи кои се изработени од чисто олово исто така се претвораат во оловен сулфат.

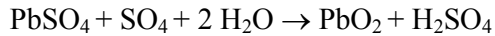
Хемиската реакција која се одвива на негативниот пол за време на празнењето на акумулаторот е:



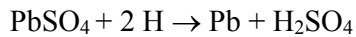
Испразнетиот акумулатор не е во можност да дава електрична струја поради создавањето на вода и намалувањето на густината на електролитот. Празнењето на акумулаторот може да се врши до опаѓање на напонот на 1,8 V по секоја ќелија. Понатамошното празнење предизвикува брзо опаѓање на напонот и претворање на оловниот сулфат во кристали, кои при наредното полнење не можат да се претворат повторно во олово, со што се намалува капацитетот на акумулаторот. Оваа појава е позната под името сулфатизација. Појавата сулфатизација може да настане и при долго неупотребуван наполнет акумулатор. Празниот акумулатор се полни со приклучување на извор од еднонасочна струја. За време на полнењето, позитивниот пол од акумулаторот

рот се поврзува со позитивниот пол од изворот, а негативниот пол од акумулаторот со негативниот пол од изворот. При полнењето на акумулаторот оловните плочи поврзани со позитивниот пол се претвораат во оловен оксид и се ослободува сулфурна киселина.

Хемиската реакција која се одвива на позитивниот пол за време на полнењето на акумулаторот е:



Хемиската реакција која се одвива на негативниот пол за време на полнењето на акумулаторот е:



Ако се претера со полнењето, тогаш на позитивниот пол се ослободува кислород, а на негативниот пол се создава експлозивен гас. Напонот на една ќелија изнесува околу 2 V. За време на полнењето, напонот ја зголемува својата вредност и достигнува до 2,7 V по ќелија. Во текот на експлоатацијата на акумулаторот вредноста на напонот опаѓа под 2 V. Меѓутоа, акумулаторот не смее да се експлоатира со напон во ќелиите од 1,7 V бидејќи може да дојде до искривување на плочите.

Капацитетот на акумулаторот претставува количество на електрична струја која акумулаторот може да ја даде за одреден број часови. Капацитетот на акумулаторот се изразува во ампер часови (Ah) и зависи од температурата. Капацитетот се намалува со опаѓање на температурата на електролитот во зимскиот период. Исправноста на акумулаторот има битно значење за сигурно пуштање на моторот во работа. Во зимскиот период капацитетот на акумулаторот се намалува приближно за 1% со намалувањето на температурата на околината за 1°C. Затоа, ако возилото не се користи во зимскиот период, акумулаторот се отстранува од возилото и се чува во топли простории.

Постојат и акумулатори со спирални ќелии чиј век на траење е трипати подолг од класичните акумулатори. Таквите акумулатори немаат правоаголна форма бидејќи пооделни ќелии се состојат од намотани тенки оловни плочи. Во меѓупросторот е поставен тенок слој на ткаенина од стаклени влакна натопени во електролит. Секоја ќелија е самостојно затворена целина, а ќелиите се меѓусебно прицврстени со елементи од леано железо. Вака затворениот акумулатор не бара посебно одржување. Кога акумулаторот со спирални ќелии се полни, се создаваат кислород и водород кои, потоа, се претвораат во вода. Поради тоа не е потребно подоцна да се додава дестилирана вода како што е случај кај класичните акумулатори. Овие акумулатори имаат вентили за испуштање на гасовите кои се создаваат при неконтролирано полнење, можат да се постават во возилото во која било положба и имаат моќ на стартување и при релативно ниски температури.

- **VRLA** (Valve regulated lead acid) е батерија со течен електролит; се користи во автомобилската индустрија како замена за олово-киселинската влажна ќелија, кај помали возила и кај алармни системи. Кај VRLA

батериите најчесто се користи неподвижен електролит чијашто неподвижност се јавува како резултат на полуцврст електролит, како кај гел-батериите, кој спречува истекување или апсорбиран стаклен мат, каде батериите го апсорбираат електролитот во специјално фибер стакло.



Сл.6.7. VRLA-батерии

- **Никел-кадмиум (Ni-Cd)** батериите најчесто се употребуваат за моторизирана опрема, кујнски апарати, медицинска опрема и др. Може да издржат поголеми празнења од никел-металхидридните батерии. Негативна страна на овие батерии е тоа што кадмиумот е токсичен, а освен тоа можна е и појава на кристализација кај овие батерии. Како последица на тоа доаѓа до пад на напонот и намалување на капацитетот на батеријата.



Сл.6.8. Никел-кадмиум (Ni-Cd) батерии

- **Никел-металхидридните (Ni-MH)** батерии се употребуваат во високо технолошките направи. Имаат поприфатлив еколошки состав од Ni-Cd батериите бидејќи токсичниот Cd заменет е со нетоксичен хидрид.



Сл.6.9. Никел-металхидридни (Ni-MH) батерии

- **Литиум-ион (Li-Ion)** батериите наоѓаат широка примена кај мобилните телефони. Имаат релативно долг работен век кој се намалува со нивно стареење и во случај кога батериите не се употребуваат.



Сл.6.10. Литиум-ион (Li-ion) батерии

- **Обновливи алкални батерии** - кај нив се употребуваат слични хемиски реагенси како и кај необновливите алкални батерии и се употребуваат за слични цели. Тие го задржуваат нивното полнење повеќе години за разлика од никел-кадмиум и никел-металните батерии.



Сл.6.11 Алкални батерии

- **Цинк-бром (Zn-Br)** батериите и ванадиум-редокс батериите се типичен пример за комерцијално достапни течни батерии. Течните батерии се специјална класа на обновливи батерии каде што е складирано дополнително количество електролит, надвор од главниот извор на батеријата. Тие имаат исклучително голем капацитет.

Новиот развој вклучува батерии со повеќе функции како што се **USB**-батеријата со вграден полнач и USB-конектор, овозможувајќи батеријата да биде полнета со нејзино вклучување во уредот за којшто е наменета.



Сл.6.12. USB-батерии



Секундарните батерии секогаш даваат помалку енергија од онаа што била потребна за нивното полнење бидејќи доаѓа до загуби при полнењето и празнењето на батеријата поради внатрешниот отпор.

Никел-кадмиум и никел-металхидридните батерии имаат ефикасност од околу 66%. Сепак модерните литиумски батерии скоро го имаат занемарено ова губење на енергија и имаат ефикасност од околу 99%.

### *Времетраење на секундарната батерија*

Обновливите батерии се празнат сами од себе, побрзо отколку примарните батерии (3% на ден), во зависност од температурата.

Сепак модерните литиумски батерии го имаат намалено степенот на празнење на релативно ниско ниво. Поради нивниот краток рок на траење, обновливите батерии не треба да бидат чувани во апарати што не се користат. Од овие причини подобро е да се чуваат алкалните батерии надвор од апаратите. Никел-кадмиум батериите се скоро секогаш испразнети при нивното купување, пред прва употреба, и можат да се полнат 1000 пати пред нивниот внатрешен отпор да стане преголем.

Иако секундарните батерии можат да бидат освежени со полнење, тие сепак претрпуваат оштетување со текот на времето.

Никел-металхидридните батерии имаат низок капацитет (1700–2000 mAh). Тие можат да бидат полнети околу 1000 пати, додека пак никел-металхидридните батерии со висок капацитет (над 2000 mAh) можат да бидат полнети околу 500 пати. Брзото полнење на батеријата ќе резултира со пократко траење на истата. Сепак, доколку извршимо долго полнење со полнач кој не може да одреди кога батеријата е целосно полна, при преполнувањето ќе дојде до оштетување на батеријата.

Никел-кадмиум батериите најпрво треба целосно да се испразнат пред нивното повторно полнење. Без целосно празнење можно е да дојде до прилепување на кристалот на електродите, намалување на активната површина и зголемување на внатрешниот отпор. Електродните кристали можат да го пробијат електролитниот сепаратор предизвикувајќи краток спој.

Кај никел-металхидридните батерии, иако имаат ист хемиски состав со никел-кадмиум батериите, не се јавува овој проблем.

Автомобилските олово-киселински полнливи батерии имаат многу пократок работен век. Поради вибрациите и големите температурни промени, мал е бројот на автомобилските акумулатори кои траат повеќе од 6 години. Оставањето на олово-киселинска батерија да се празни подолго време, доведува до кристализирање на сулфатите коишто не можат да се отстранат за време на полнењето, а тоа пак доведува до намалување на капацитетот на батеријата. Времетраењето на батериите може да биде зголемено со чување на батериите на ниска температура, на пример во фрижидер или замрзнувач, бидејќи хемиските реакции во батериите во тој случај се побавни. Ваквото складирање може да го продолжи времетраењето на алкалните батерии за 5%, а кај секундарните батерии за неколку денови или месеци.

За да се добие максимален напон на батериите, пред употребата, потребно е тие бидат вратени на собна температура.

### *Дефекти кај батериите*

Експлозија во батериите може да настане како резултат на погрешна употреба или дефект во батеријата, како што е обид за полнење на примарната батерија. Кај автомобилските батерии доаѓа до експлозии на батеријата при повисоки струи.

Автомобилските батерии ослободуваат водород кога се под голем напон. При ослободувањето на поголема количина водород може да дојде до експлозија, односно запалување на водородот од некоја искра.

Доколку батеријата се полни со побрзо темпо, експлозивен гас составен од водород и кислород може да биде создаден за пократок временски период и тогаш може да излезе од внатрешноста на батеријата, а со тоа се зголемува опасноста од експлозија. Во други случаи, пак, киселината може да излезе од батеријата и да предизвика штета. Преполнувањето, односно обидот да се наполни батеријата повеќе од нејзиниот електричен капацитет, исто така може да доведе до експлозија, течење; таа ќе се оштети и може да предизвика штета на полначот или на апаратурата во којашто е употребена таа батерија. Исто така и изложувањето на батериите на оган може да доведе до нивна експлозија.

### *Негативни ефекти на животната средина*

Батериите се уште се најскапите извори на енергија и за нивното производство се потребни скапи материјали во кои често спаѓаат и токсичните хемикалии.

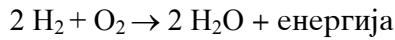
Употребените батерии се сметаат како електронски отпад. Поради ова многу области имаат сервиси за рециклирање на батерии кои се во можност да рециклираат некои од потоксичните и скапи материјали, од употребените материјали.

## **6.1.2. ГОРИВНА КЕЛИЈА**

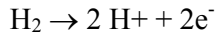
Горивна ќелија е електрохемиски уред кој служи за непосредна конверзија на хемиската енергија содржана во некој хемиски елемент или соединение во еднонасочна електрична струја. Горивната ќелија исто како и батеријата се состои од две електроди вронети во ист електролит. На анодата на горивната ќелија се оксидира горивото т.е. некој хемиски елемент или соединение со висока содржина на внатрешна енергија. Електроните кои се ослободуваат како резултат на оксидацијата на горивото од анодата преминуваат на катодата преку спроводник. Некој друг хемиски елемент или соединение (оксиданс) се редуцира на катодата примајќи ги електроните. Горивните ќелии немаат подвижни делови, работат нечујно, имаат голем степен на корисно дејство и не ја загадуваат човековата околина.

Принципот на работа на горивната ќелија може наједноставно да се објасни на досега најдобро разработениот состав со водород, како гориво, и кислород, како оксиданс.

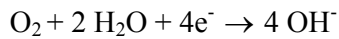
Кога водородот и кислородот во гасовита состојба ќе се доведат во контакт, при посебни услови доаѓа до реакција при што се соединуваат во вода и се ослободува енергија:



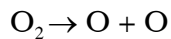
Вкупната реакција во горивната ќелија се состои од две единечни реакции од кои секоја се одвива на едната електрода. На анодата се оксидира водородот и се ослободуваат електрони:



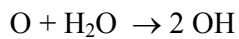
Електроните преку електричен спроводник се пренесуваат на катодата каде кислородот се редуцира:



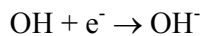
Редукцијата на кислородот е сложена реакција, чиј механизам зависи од видот на електродната површина. Вкупната реакција се состои од неколку реакции. Првата реакција е дисоцијација на кислородот:



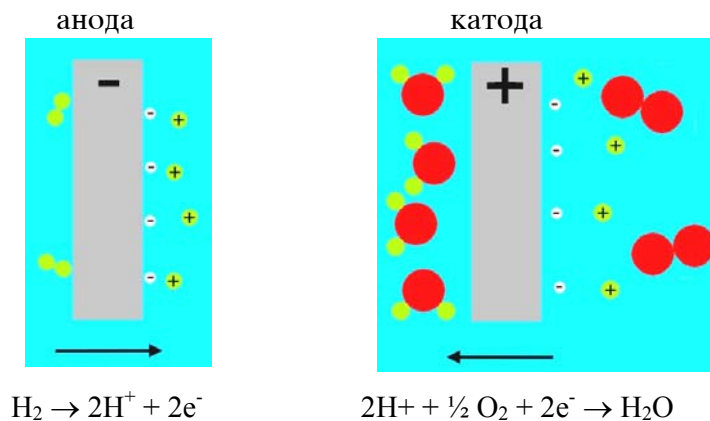
Атомскиот кислород се адсорбира на површината на металната електрода и во реакција со вода настануваат хидроксилни групи, адсорбирани како хидроксид на површината на металот:



Така создадените хидроксилни групи конечно се редуцираат во јони:



Во горивната ќелија водородните јони преминуваат низ електролитот и се соединуваат со хидроксилните јони во вода (сл.6.13).



Сл.6.13. Принцип на работа на горивна ќелија

Делови и реагенси на горивните ќелии се: електроди, катализатори, електролити, горива и оксиданси.

На електродите на горивната ќелија се одвиваат електрохемиски реакции на оксидација и редукција. Електродите имаат повеќе функции. Тие ги спроведуваат електроните, па затоа треба да се изработуваат од метал или полупроводник. Електродната површина треба да ги катализира електрохемиските реакции на адсорбирање и дисоцирање на реактантите, и да овозможи брза десорпција на продуктите. Електродите мора да имаат добри механички својства, да може да се изработуваат во саканиот облик со одредена специфична површина и големина на пори и не смее да кородираат во електролитот на горивната ќелија. Заштитните оксидни слоеви на електродните површини не се препорачуваат бидејќи даваат отпор на преносот на електрони. Затоа, како електроди може да се користат само одредени метали како што се: платина, паладиум, родиум, рутениум, а донекаде и никел, за анода и сребро, за катода. Наведените благородни метали имаат висока цена на чинење, затоа електродите во поново време се изработуваат во вид на дисперзии во матрица од некој полимер (тефлон, полиетилен) на носач од метали, како што се никелот, бакарот или некој друг метал.

Применетите електролити кај горивните ќелии можат да бидат течни или цврсти. Како течни електролити најчесто се користат солите на алкалните метали (хлоридите и карбонатите). Од цврстите електролити примена имаат јонските изменувачи како и полимерните мембрани ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$  и  $\text{MgO}$ ) во присуство на активни компоненти.

Во зависност од видот на применетиот електролит, горивните ќелии можат да бидат со алкален електролит, со фосфорна киселина, со полимерна мембрана како електролит, со карбонати или горивни ќелии, со цврсти оксиди, како електролит.

Како оксиданс во горивните ќелии може да се употреби секој хемиски елемент или соединение кое има голем афинитет кон електрони и кое со редукција преминува во јонска состојба. Најчесто користен оксиданс е кислородот. Кај некои реакции како оксиданси може да се користат халогени елементи (Cl, Br, F) или оксидиран облик на некој редокс состав.

Изборот на катализаторот зависи од најбавниот степен на вкупната електрохемиска реакција. Во зависност од начинот на работа, горивните ќелии можат да бидат примарни и секундарни. Кај примарните горивни ќелии продуктите се отстрануваат од горивната ќелија, додека кај секундарните горивни ќелии продуктите на реакцијата со посредство на електрична енергија се регенерираат во почетните реактанти. Продуктите може да се регенерираат во горивната ќелија или надвор од неа.

Сé уште не постојат технички решенија на горивни ќелии кои би имале голема моќност и би биле економични.

Се работи на тоа благородните метали како електроди да се заменат со други метали со пониска цена на чинење. Сé уште е проблем и работниот век, односно нивната трајност, која зависи од каталитичката активност на електродната површина.

Водородот е наједноставниот и најзастапениот елемент во природата. На Земјата се наоѓа во комбинација со други елементи, најмногу со кислород, јаглерод и азот. За да се употреби како извор на енергија, потребно е да се издвои од супстанциите во чија градба учествува. Основата се природните гасови, но тој исто така се добива и со електролиза на вода. Поради високата

енергетска моќ, водородот се употребува и во вселенските програми. Идејата за водородот како погонско гориво во автомобилската индустрија не е нова, но потребни се уште години доработка и огромни вложувања. Автомобилски мотори на водород веќе постојат. Иако се во експериментална фаза, перспективите се идеални, затоа што овие мотори се двапати поефикасни од постојните бензински и дизел-мотори. Проблеми во развојот на новиот погон се производството на водород и неговото складирање. Засега водородот се добива со согорување на нафта, така што се троши многу енергија и повторно се емитураат истите штетни гасови. Долго време научниците размислуваат за можноста за користење на водата како гориво, со нејзиното разложување на водород и кислород. За да се добие водород од вода, потребно е да се употреби енергија. Се работи на тоа енергијата од Сонцето да се искористи за да се добие водород од вода, односно фотокаталитички водата да се разложи на составните компоненти. Неколку видови фотокаталитички разложувања на водата се веќе познати. Катализаторите претставуваат типични комплексни соединенија на метали, како што се титанот, ниобиумот или танталот и сите се способни да ја разложуваат водата во присуство на светлина.

## 6.2. ЕЛЕКТРИЧЕН ГЕНЕРАТОР И ЕЛЕКТРОМОТОРНА СИЛА

Електричната енергија се произведува во електрични генератори кои се лоцирани во електричните централи: термоелектрични централи, хидроелектрични централи, ветерни електрични централи и др.

Генераторите во електроенергетските системи вршат конверзија на одреден вид енергија (топлина, енергија на водата, енергија на ветерот и др.) во електрична енергија.

Електричните генератори овозможуваат трансформација на механичката енергија во електрична енергија.

За да се воспостави стационарна струја во електрично коло, потребни се сили кои ќе ги движат слободните електрични полнежи спротивно на електростатичкото поле од точка на понизок потенцијал кон точка на повисок потенцијал. Таквите сили се нарекуваат надворешни сили и можат да бидат резултат на механички, хемиски, електромагнетни и други процеси. Изворот на тие сили се нарекува електричен извор или електричен генератор.

Кај електричен генератор со отворени приклучоци, под дејство на силите на надворешно електрично поле, доаѓа до насобирање на негативни електрични полнежи на едниот приклучок и позитивни електрични полнежи на другиот приклучок од генераторот. Насобирањето на електричните полнежи на приклучоците од генераторот трае сè до оној момент додека електричното поле со кое располага генераторот не се изедначи со електростатичкото поле кое е со спротивна насока, а е создадено од насобраните електрични полнежи на приклучоците од генераторот. Ваквата состојба на електричниот генератор, кога не е вклучен во електрично коло и не создава електрична струја, се нарекува режим на работа во празен од. Приклучокот на кој се насобираат негативните електрични полнежи се нарекува негативен приклучок, а оној на кој се насобираат позитивните електрични полнежи се нарекува позитивен прик-

лучок на генераторот. Позитивниот приклучок е на повисок потенцијал во однос на негативниот приклучок на генераторот.

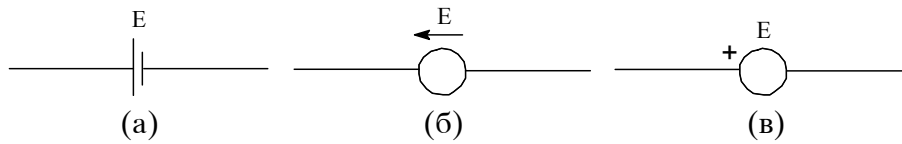
Важна карактеристика на генераторот е што надворешните сили не зависат од условите кои постојат во електричното коло, односно од електричните полнежи насобрани на приклучниците од генераторот, и во случај кога генераторот е во режим на празен од, а исто така не зависат ниту од струјата која би постоела низ генераторот кога тој е вклучен во затворено електрично коло.

Електричното поле во генераторот е во насока од точка на понизок потенцијал кон точка на повисок потенцијал.

Основни карактеристики на електричните извори се: електромоторната сила (ЕМС) и внатрешната отпорност.

Електромоторната сила на генераторот, според интензитетот, е еднаква на потенцијалната разлика, т.е. на напонот, помеѓу позитивниот и негативниот приклучок на генераторот.

Неколку графички симболи се применуваат за да се претстават генераторите во електричните шеми. Насоката на ЕМС на генераторот е од негативниот приклучок кон позитивниот и се означува различно, во зависност од применетиот симбол.



Сл.6.14. Графички симболи на генератори—позитивниот приклучок е означен: (а) со подолга линија; (б) со стрелка; (в) со знакот +

Референтната насока на ЕМС е по дефиниција од негативниот кон позитивниот приклучок од генераторот, односно во насока на надворешното електрично поле.

$$P_g [W] = E \cdot I$$

$P_g [W]$  – моќност на идеален генератор

$E [V]$  – електромоторна сила

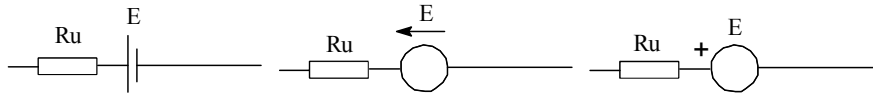
$I [A]$  – струја низ генератор

Напонот помеѓу приклучоците на идеален генератор не зависи од големината и од насоката на струјата низ него и секогаш е еднаков на ЕМС на генераторот.

Внатрешниот дел на генераторот кој води струја е изработен од некој спроводлив материјал со определена отпорност. Во овој дел доаѓа до Џулов ефект, односно до претворање на електричната енергија во топлина.

Моделот на генераторот со внатрешна отпорност се нарекува реален генератор на ЕМС или напонски генератор.

Внатрешниот отпор на генераторот може да се прикаже со симболот  $R_u$  или како сериска врска на идеалниот генератор и отпорникот со отпорност  $R_u$ .



Сл.6.15. Графички симболи на напонските генератори

Напонот меѓу приклучоците на реалниот генератор е:

$$U \text{ [V]} = E - R_u \cdot I$$

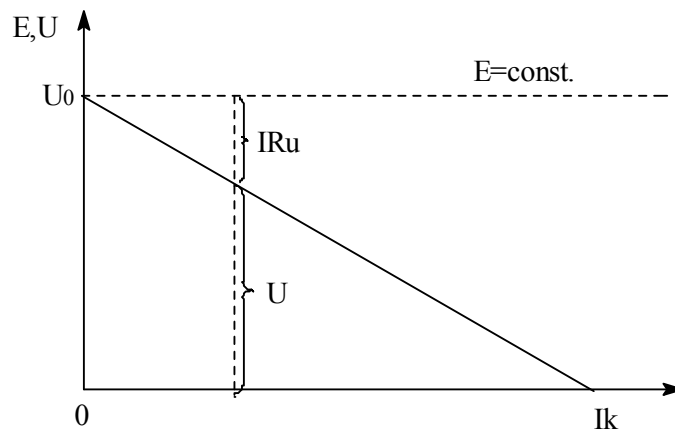
$U \text{ [V]}$  – напон помеѓу приклучоците на реален генератор

$E \text{ [V]}$  – електромоторна сила

$R_u \text{ [}\Omega\text{]}$  – внатрешен отпор на генераторот

$I \text{ [A]}$  – струја низ генераторот

Зависноста на вредноста на напонот на приклучоците на реалниот генератор, во зависност од струјата низ него, е праволиниска и се нарекува надворешна карактеристика на изворот за напојување.



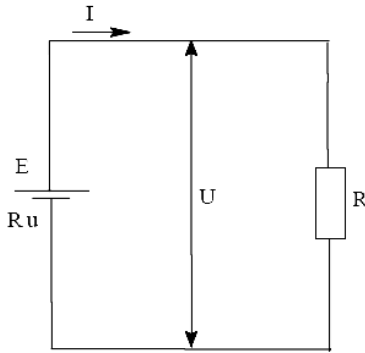
Сл.6.16. Надворешна карактеристика на изворот за напојување

$U_0$  – напон на изворот при празен од

$I_k$  – критична струја при краток спој

Со зголемување на струјата, падот на напонот како резултат на внатрешниот отпор сè повеќе се зголемува со истовремено намалување на напонот на приклучниците до една крајна критична вредност на струјата  $I_k$ , кога доаѓа до пробивање на изворот на електричната струја.

Графичкото претставување на напонот на изворот, во зависност од неговото оптоварување со струја, се нарекува надворешна карактеристика на изворот.



Сл.6.17. Струја во коло на еден генератор и еден отпорник

Струјата кај реален генератор зависи од отпорот на потрошувачот.

$$I[\text{A}] = \frac{E}{R + R_u}$$

$$P_g[\text{W}] = EI = \frac{E^2}{R + R_u}$$

$$P_r = RI^2 = \frac{R \cdot E^2}{(R + R_u)^2} = P_g \frac{R}{R_u + R}$$

$P_g$  [W] – моќност на реален генератор

$P_r$  [W] – моќност на потрошувач

Степенот на корисно дејство на системот генератор-потрошувач се определува преку односот:

$$\eta = \frac{P_r}{P_g} = \frac{R}{R_u + R}$$

$$W[\text{J}] = Q = P \cdot t = U \cdot I \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t$$

Џул - Ленцов закон

$W$  [J] – електрична енергија

$Q$  [J] – топлотна енергија

$Q = C m (T_1 - T_0) = \eta (P \cdot t)$

$C \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$  – топлотен коефициент



$$\eta = \frac{P_k}{P_{vk}} \cdot 100(\%)$$

$\eta$  – степен на искористување на електричните уреди

$P_k$  [W] – корисна моќност која ја дава генераторот во надворешното коло и корисна моќност која ја развива моторот.

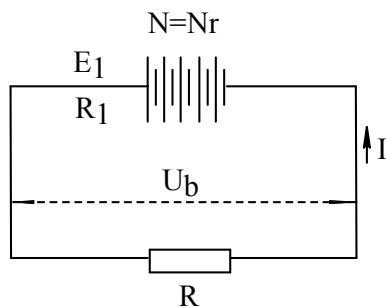
$P_{vk}$  [W] – моќност која ја предава погонскиот мотор на генераторот и моќност која моторот ја одзема од мрежата.

Постојат и повеќе видови генератори кои имаат особина да имаат константна јачина на струјата, независна од отпорноста на отпорникот кој е приклучен помеѓу приклучоците на таквиот генератор. Ако јачината на струјата низ генераторот е константна, тој се нарекува струен генератор за разлика од напонскиот генератор кој досега го разгледувавме.

### 6.2.1. Поврзување на електрични извори

- Редно (сериско) поврзување на извори

Редното поврзување на извори се применува кога некој извор има помал напон од номиналниот напон на потрошувачот, а се изведува на тој начин што позитивниот пол на еден извор се поврзува со негативниот пол на соседниот извор.



$$I[A] = \frac{E_b}{R_b + R} = \frac{N_r \cdot E_1}{N_r \cdot R_1 + R}$$

$$E_b [V] =$$

$$R_b [\Omega] =$$

Сл.6.18. Редно поврзување на извори

$E_b$  [V] – електромоторна сила на изворот

$R_b$  [ $\Omega$ ] – внатрешен отпор на изворот

$E_1$  [V] – електромоторна сила на еден елемент

$R_1$  [ $\Omega$ ] – внатрешен отпор на еден елемент

$R$  [ $\Omega$ ] – надворешен отпор

$N_r$  – број на елементи поврзани во серија

Ако некој од изворите при редното поврзување се приклучи обратно од другите, односно неговиот позитивен пол се поврзе со позитивниот пол на соседниот извор, таквиот начин на поврзување се нарекува редно противповрзување. ЕМС на овој извор сега ќе дејствува во спротивна насока, односно ќе има спротивен предзнак од другите извори во батеријата. Оваа појава се нарекува

компензација на напонот. Потполна компензација се добива при редно противповрзување на два извора со еднакви вредности на ЕМС.

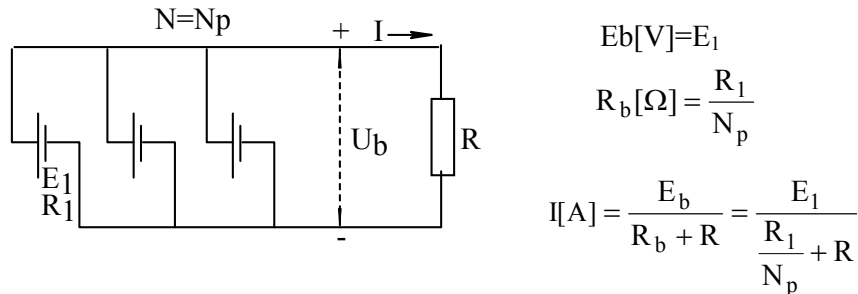
$$E_1 = -E_2$$

$$E_b = E_1 - E_2 = 0$$

Компензацијата на напонот се користи при некои мерни методи во електрохемијата и електротехниката, како што е случајот со определувањето на ЕМС на некој галвански елемент или само на електродниот потенцијал на едната од неговите електроди.

- *Паралелно поврзување на извори*

Паралелното поврзување се применува ако потрошувачот има потреба од појака струја од онаа што може да ја даде изворот.



$$E_b[V] = E_1$$

$$R_b[\Omega] = \frac{R_1}{N_p}$$

$$I[A] = \frac{E_b}{R_b + R} = \frac{E_1}{\frac{R_1}{N_p} + R}$$

Сл.6.19. Паралелно поврзување на извори

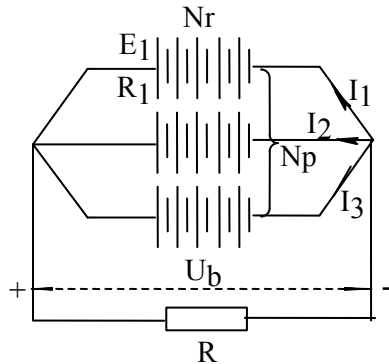
- $E_b [V]$  – електромоторна сила на изворот
- $R_b [\Omega]$  – внатрешен отпор на изворот
- $E_1 [V]$  – електромоторна сила на еден елемент
- $R_1 [\Omega]$  – внатрешен отпор на еден елемент
- $R [\Omega]$  – надворешен отпор
- $I [A]$  – струја на изворот
- $N_p$  – број на елементи паралелно поврзани

Паралелното поврзување поретко се применува кај хемиските извори на струја. Голема примена има при заедничкото работење на сите генератори на хидроелектричните центри и термоелектричните центри во заедничката системска мрежа, кога се напојуваат сите потрошувачи од широката потрошувачка.

- *Комбинирано (мешовито) поврзување на извори*

Со комбинација на паралелно и сериско поврзување на електричните извори се добива комбинирана врска. Напонот при ваквата врска е еднаков на напонот на една паралелна гранка и зависи од бројот на изворите во таа гранка.

Јачината на струјата е дотолку поголема, доколку е поголем бројот на паралелните гранки и е еднаква на збирот на струите низ сите паралелни гранки.



$$E_b[V] = N_r \cdot E_1$$

$$R_b[\Omega] = \frac{N_r \cdot R_1}{N_p}$$

$$I[A] = \frac{E_b}{R_b + R} = \frac{N_r \cdot E_1}{\frac{N_r \cdot R_1}{N_p} + R}$$

Сл.6.20. Комбинирано поврзување на извори

- $E_b [V]$  – електромоторна сила на батеријата
- $R_b [\Omega]$  – внатрешен отпор на батеријата
- $E_1 [V]$  – електромоторна сила на еден елемент
- $R_1 [\Omega]$  – внатрешен отпор на еден елемент
- $R [\Omega]$  – надворешен отпор
- $I [A]$  – струја на батеријата
- $N_r$  – број на елементи редно поврзани
- $N_p$  – број на елементи паралелно поврзани

### Пример 1

Да се определат напонот и струјата на батерија составена од десет елементи, поврзани:

- а) сериски
- б) паралелно

Електромоторна сила на секој елемент изнесува 1,5 V, внатрешниот отпор 0,2  $\Omega$ , а на краевите на батеријата приклучен е отпор од 3  $\Omega$ .

*Решение:*

$$\text{а) } E_b = N_r \cdot E_1 = 10 \cdot 1,5 = 15[V]$$

$$I = \frac{E_b}{N_r \cdot R_1 + R} = \frac{15}{10 \cdot 0,2 + 3} = 3[A]$$

$$\text{б) } E_b = E_1 = 1,5[V] \quad I = \frac{E_b}{\frac{R_1}{N_p} + R} = \frac{1,5}{\frac{0,2}{10} + 3} = 0,49 \approx 0,5[A]$$

### Пример 2

Десет галвански елементи, секој со електромоторна сила од 1,4 V и внатрешен отпор 0,06  $\Omega$  се поврзани во две групи од по пет елементи во серија.

Да се пресмета струјата во колото, ако на краевите на батеријата е приклучен отпор од  $2,85 \Omega$ .

Решение:

$$I = \frac{N_r \cdot E_1}{\frac{N_r \cdot R_1}{N_p} + R} = \frac{5 \cdot 1,4}{\frac{5 \cdot 0,06}{2} + 2,85} = 2[\text{A}]$$

### 6.2.2. Струја и напон во електрични кола

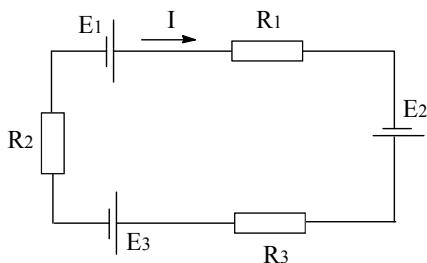
Збирот на објекти и елементи кои сочинуваат затворен круг на електричната струја се нарекува електрично коло.

Електричните кола можат да бидат:

- прости електрични кола: низ сите елементи на електричното коло јачината на струјата е со еднаков интензитет и насока;
- сложени електрични кола: тоа се разгранети електрични кола во кои струите се со различен интензитет и насока.

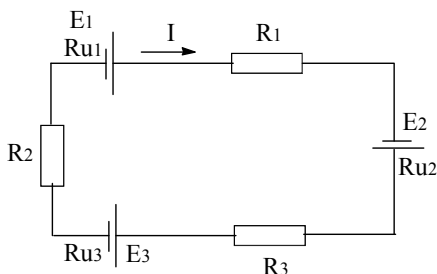
Електрични мрежи се сложени врски на елементите на електрично коло.

Омовиот закон за просто електрично коло гласи: Струјата во електричното коло е еднаква на односот на алгебарскиот збир на сите електромоторни сили на изворите и сумата на сите отпори во електричното коло.



$$I = \frac{\sum_{i=1}^m E_i}{\sum_{j=1}^n R_j} = \frac{E_1 + E_2 - E_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Ако се дадени внатрешните отпори на изворите:



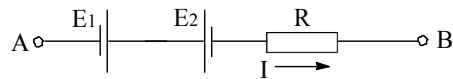
$$I = \frac{\sum_{i=1}^m E_i}{\sum_{j=1}^n R_j} = \frac{E_1 + E_2 - E_3}{R_1 + R_2 + R_3 + R_{u1} + R_{u2} + R_{u3}}$$

Сл.6.21. Струја во просто електрично коло

Ако во електричното коло постои само еден извор, насоката на струјата се задава од позитивниот кон негативниот пол на изворот. Доколку постојат повеќе извори со различна ориентација насоката на струјата, се претпоставува и усвојува произволно (референтна насока).

Вредноста на ЕМС на изворот е со позитивен предзнак ако референтната струја влегува во негативниот, а излегува од позитивниот пол на изворот, и обратно. Претпоставената насока на струјата е точна доколку пресметаната вредност е со позитивен предзнак, односно ако нејзината насока се поклопува со насоката на референтната струја.

Напонот меѓу кои било две точки во електричното коло може да се определи преку алгебарскиот збир на сите падови на напоните и збирот на електромоторните сили кои постојат меѓу тие две точки. Падовите на напоните во сите отпорници се земаат со позитивен предзнак ако струјата има насока од почетната кон крајната точка. Електромоторните сили се со позитивен предзнак доколку нивниот позитивен пол е насочен кон почетната точка, а негативниот пол кон крајната точка на одредување на напонот, и обратно.

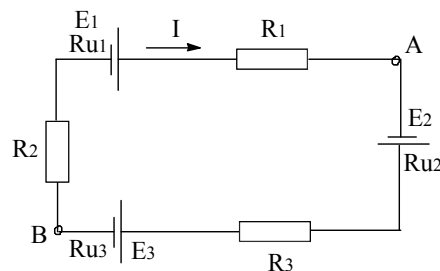


$$U_{AB} = -E_1 + E_2 + RI$$

Сл.6.22. Напон меѓу две точки во електрично коло

### Пример 1

Да се определи напонот меѓу точките А и В на електричното коло прикажано на шемата:



Решение:

$$U_{AB} = -E_2 + E_3 + I(R_3 + R_{u2} + R_{u3}) = E_1 - I(R_1 + R_2 + R_{u1})$$

### 6.2.3. Кирхофови закони

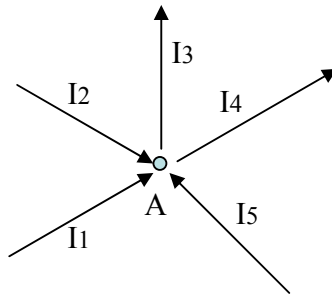
Кирхофовите закони се применуваат за определување на струите во сите гранки на сложени (разгранети) електрични кола.

Карактеристични поими за сложени електрични кола:

- *Јазол* на колото е точка на разгранување, односно местото каде се поврзуваат повеќе од три елементи во некое електрично коло.
- *Гранка* на електрично коло претставува дел на електричното коло помеѓу два јазли, каде низ сите елементи протекува иста струја. Гранката може да биде составена од еден или повеќе редно поврзани елементи.
- *Контура* е секое просто коло кое влегува во состав на разгранетото електрично коло.

Напонот помеѓу два јазли е еднаков на разликата на потенцијалите на тие јазли, односно е еднаков на ЕМС на некој идеален електричен извор, којшто доколку е приклучен помеѓу тие јазли, не предизвикува никаква измена на струите и напоните во другите делови на колото.

1. *Првиот Кирхофов закон* се однесува на струите кои се состануваат во еден јазол на разгрането електрично коло.



Сл.6.23. Струи кои се состануваат во јазолот А

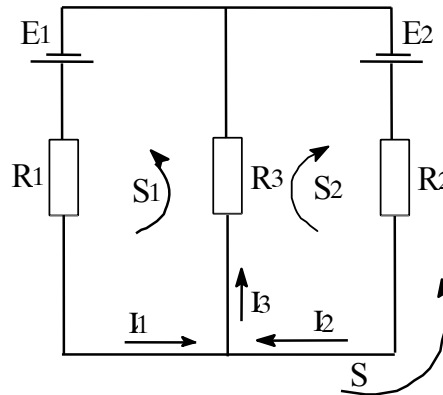
$$A) \quad I_1 + I_2 + I_5 = I_3 + I_4$$

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

$$\sum_{j=1}^n I_j = 0$$

Збирот на сите струи кои дотекнуваат во еден јазол е еднаков на збирот на сите струи кои истекуваат од него, или алгебарскиот збир на јачините на струите во кој било јазол на електричното коло е еднаков на нула.

2. Вториот Кирхофов закон се однесува на падот на напоните во контурите на разгрането електрично коло.



Сл.6.24. Струи и контури на разгрането електрично коло

$$S) \quad E_1 - E_2 = R_1 I_1 - R_2 I_2$$

$$S_1) \quad E_1 = R_1 I_1 + R_3 I_3$$

$$S_2) \quad E_2 = R_2 I_2 + R_3 I_3$$

Алгебарскиот збир од електромоторните сили во дадена контура е еднаков на алгебарскиот збир од падовите на напоните во гранките од таа контура.

$$\sum_{i=1}^n E_i = \sum_{j=1}^n R_j I_j$$

Алгебарските предзнаци на напоните и ЕМС се задаваат по следново правило:

- позитивен предзнак за ЕМС ако насоката на обиколување на контурата е од позитивниот кон негативниот пол на изворот;
- позитивен предзнак за напонот  $RI$  ако референтната насока на струјата е иста со насоката на обиколување.

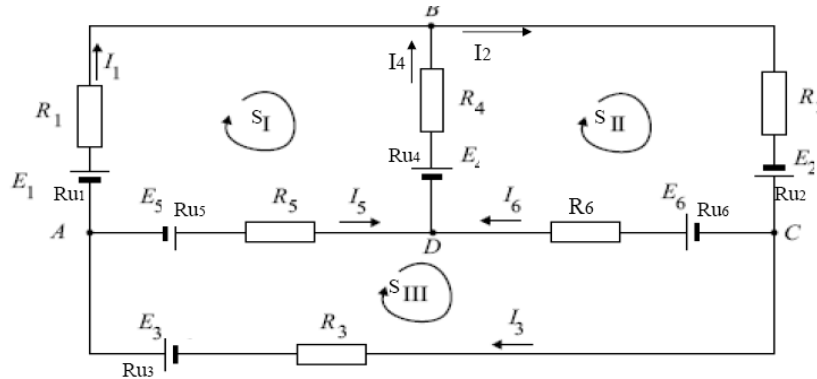
Потполно ист резултат се добива ако се избере друга почетна точка, спротивна насока на обиколување или спротивна насока на референтната струја.

Разгранетите електрични кола се пресметуваат по следните чекори:

- произволно се означува насоката на струјата во сите гранки на електричното коло ( $m =$  број на гранки  $=$  број на струи);
- се определува бројот на јазлите ( $n$ );
- бројот на равенките составени по првиот Кирхофов закон треба да биде  $n-1$ ;
- бројот на равенките составени по вториот Кирхофов закон треба да биде  $m-n+1$ ;

- се пресметува системот равенки со определување на струите во сите гранки на електричното коло. Позитивниот резултат на решението кажува дека претпоставената насока е точна, а негативниот предзнак кажува дека претпоставената насока на референтната струја не е точна.

**Пример 1**



Решение:

- I КЗ) A)  $I_3 = I_1 + I_5$   
 B)  $I_1 + I_4 = I_2$   
 C)  $I_2 = I_3 + I_6$
- II КЗ) S1)  $E_1 - E_4 - E_5 = (R_1 + Ru_1)I_1 - (R_4 + Ru_4)I_4 - (R_5 + Ru_5)I_5$   
 S2)  $E_2 + E_6 + E_4 = (R_2 + Ru_2)I_2 + (R_6 + Ru_6)I_6 + (R_4 + Ru_4)I_4$   
 S3)  $E_5 - E_6 + E_3 = (R_5 + Ru_5)I_5 - (R_6 + Ru_6)I_6 + (R_3 + Ru_3)I_3$

Секое разгрането електрично коло може да се реши со:

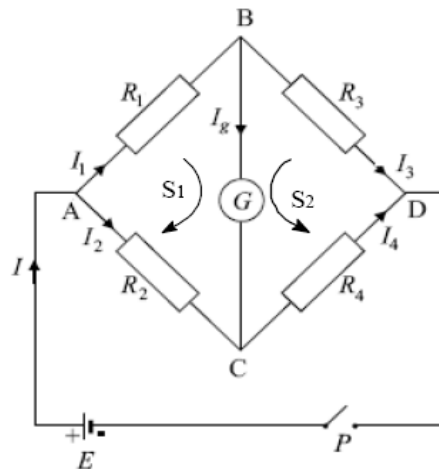
- директна примена на Кирхофовите закони
- метода на контурни струи (со примена на II кз. само на независни контури, односно контури кои имаат најмалку една гранка која припаѓа само на таа контура)
- метода на потенцијали на јазли (со определување на вредностите на потенцијалите во јазлите на електричното коло преку избор на референтен јазол чиј потенцијал има вредност нула).



Решавањето може да се изведе и со примена на следниве теореми:

- *Теорема на суперпозиција:* Во електрично коло со повеќе извори, струјата во било која гранка е еднаква на алгебарскиот збир на струите кои во таа гранка би ги создале изворите на ЕМС, кога во истото електрично коло би дејствувале поединечно;
- *Тевениновата теорема* овозможува целата произволно комплицирана мрежа во однос на два нејзини приклучоци да се замени со еквивалентен модел на реален напонски генератор (со ЕМС еднаква на напонот меѓу приклучоците на генераторот);
- *Нортоновата теорема* е изведена од Тевениновата теорема и се однесува на замената со еквивалентен струен генератор кој произведува струја независна од напонот меѓу приклучоците на генераторот;
- *Теорема на реципроцитет:* ако произволна ЕМС поставена во една гранка на пасивната мрежа предизвика струја во некоја друга гранка, тогаш истата ЕМС пренесена во другата гранка ќе предизвика иста струја во првата гранка.

#### 6.2.4. Витстонов мост



Сл.6.25. Витстонов мост

Витстоновиот мост претставува разгрането електрично коло (со  $n=4$  и  $m=6$ ) и се користи за определување на непознат отпор. Кога низ дијагналната гранка BC не протекува струја мостот е во рамнотежа. Во тој случај:

- I кз) B)  $I_1 = I_3$   
 C)  $I_2 = I_4$

$$\text{II кз) } S_1) 0 = R_1 I_1 - R_2 I_2 \Rightarrow R_1 I_1 = R_2 I_2$$

$$S_2) 0 = R_4 I_4 - R_3 I_3 \Rightarrow R_4 I_4 = R_3 I_3$$

$$R_4/R_3 = I_3/I_4 = I_1/I_2 = R_2/R_1$$

Ако  $R_1$  е непознат отпор чија вредност треба да се определи тогаш:

$$R_1 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_4}$$

Кај овој метод за определување на непознат отпор не е можно да се јават грешки бидејќи мерењето не зависи од електромоторната сила на изворот, ниту пак се мерат јачините на струите бидејќи се знае дека низ дијагоналната гранка не протекува струја, а исто така и отпорот на контактите не влијае на резултатот од мерењето.

## 7. ЕЛЕКТРИЧНО ОСВЕТЛЕНИЕ

Најголемиот број информации за светот што го опкружува човекот ги прима преку својот орган за вид. Затоа, осветлението има важна улога при обезбедувањето услови за повеќето значајни активности на луѓето, посебно за работните услови. Кога се знае дека со технолошкиот развој пред работникот се поставуваат сè посложени, и за очите, напорни задачи, сосема е разбирлива неопходноста на работните места да се обезбедува и поквалитетно осветлување. Работата врз решавањето на тој проблем придонела за развој на светлинските извори, за детално проучување на нивните карактеристики и за изнаоѓање практични начини за нивното рационално користење, односно за развој на областа на науката и техниката наречена светлотехника.

Светлина е облик на енергија којашто се пренесува од едно до друго материјално тело без потреба од материјализирана супстанција во меѓупросторот. Овој начин на пренесување на енергијата се нарекува *радијација*.

Под *свеќлински извор* се подразбира уред што претвора друг вид енергија во светлина. Постојат најразлични видови извори на светлина и, тие можат да бидат природни или вештачки.

Под *свеќлина* се подразбира електромагнетно зрачење коешто човечкото око непосредно може да го регистрира.

Од широкиот спектар на електромагнетни зрачења само мал дел може непосредно да се регистрира со човечкото око. Тие зрачења се нарекуваат светлина. Нивните бранови должини во вакуум се во интервалот од 380 nm до 780 nm, при што зрачењата со различни бранови должини човечкото око ги забележува како светлина со различна боја (таб.6).



Сл.7.1. Оптичко зрачење и видлива светлина

Електромагнетното зрачење со бранова должина од 100 nm до 380 nm е наречено ултравиолетово, а електромагнетното зрачење со бранова должина од 780 nm до околу 1000 nm е наречено инфрацрвено зрачење.

Ултравиолетовото, видливото и инфрацрвеното зрачење со заедничко име се нарекуваат оптичко зрачење.

Таб.6. Спектар на видливата светлина и релативната спектрална осетливост на човечкото око

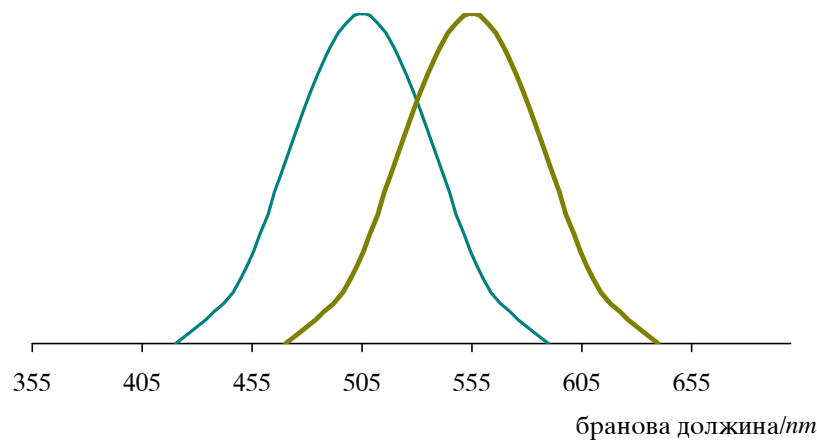
Боја на светлината	Бранова должина во вакуум /nm
Виолетова	380 - 440
Сина	440 - 500
Зелена	500 - 570
Жолта	570 - 590
Портокалова	590 - 630
Црвена	630 - 780

## 7.1. СВЕЛЛОТЕХНИКА

Областа на науката и техниката што се занимава со проучување на принципите и развојот на средствата за производство, просторната распределба и мерењето на оптичкото зрачење се нарекува светлотехника. Главни цели на светлотехниката се:

- квалитетно и економично осветление неопходно за ефикасно и/или безбедно обавување на предвидените активности во дефинираниот простор (внатрешно или надворешно осветление);
- да обезбеди вклопување на светлотехничкото решение во поставените естетски барања за дефинираниот простор (внатрешно или надворешно осветление).

Човечкото око е мошне деликатен орган, со карактеристични особини за кои се води сметка во светлотехниката. Неговата осетливост не е еднаква на сите бои од спектарот на светлината, а зависи и од сјајноста.



Сл.7.2. Релативна спектрална светлинска ефективност на човечкото око во услови на: дневно гледање (дебела линија) и ноќно гледање (тенка линија)

На сл.7.2. прикажани се релативните осетливости на човечкото око на одделни бои во услови на дневно гледање и во услови на ноќно гледање. Во првиот случај човечкото око е најосетливо на жолто-зелената светлина, со максимум кај брановата должина од 555 nm. Во вториот случај најголемата осетливост на окото е за светлина со бранова должина 505 nm.

### 7.1.1. Ефекти на осветлението врз одделни аспекти на човековите активности

Влијанието на вештачкото осветление врз човекот може да биде од физиолошка или психолошка природа.

Ефектите можат да бидат:

#### 1. негати́вни (лошо осветление)

- намалување на ефикасноста во работата, зголемување на бројот на повредите и намалување на безбедноста,
- психолошки замор, нервоза и слично.

#### 2. позити́вни (добро осветление)

- поголема ефикасност во работата, намалување на бројот на повредите и поголема безбедност,
- попријатен амбиент (од психолошки аспект) и услови за подобро расположение.

Поради намалувањето на видната способност со стареењето, осветлението има поизразени ефекти кај повозрасните луѓе.

Со подобро работно осветление се постигнува поголемо производство, порационално користење на материјалите, енергијата и работната сила и подобро користење и одржување на средствата за работа. Сите тие ефекти се неопходни за постигнување поголема ефикасност на трудот и претставуваат битен услов за успешно работење, што е императив за развој на материјалната основа на општеството.

### 7.1.2. Основни светлотехнички големини и поими

*Количес̀тво на свеѝлина*  $Q$  [lm·s]

Под количество на светлина на еден светлински извор се подразбира енергијата што тој извор ја емитува во вид на светлина.

Единица за количество на светлина е лумен-секунда [lm·s]. Тоа е количество светлина што ја зрачи изворот чиј флукс е еден лумен за време од една секунда.

Светлински флуks  $\Phi = Q/t$  [lm]

Светлински флуks на еден светлински извор е количество светлина што изворот ја емитува во единица време.

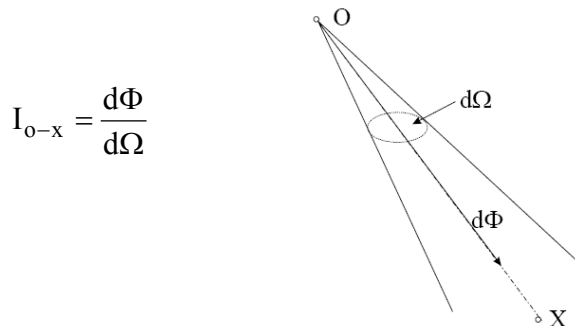
Светлинскиот флуks на еден извор дава информација само за моќноста на видливото зрачење на изворот, но не и за просторната распределба на тоа зрачење.

Единица за светлинскиот флуks е лумен [lm]. Луменот е светлински флуks што зрачел во просторниот агол од еденстерадијан од страна на точкест светлински извор, чија светлинска јачина во сите правци е еднаква на една кандела.

Под точкест или пунктуален светлински извор се подразбира светлински извор чии димензии се многу мали во споредба со неговото растојание од површината што тој ја осветлува, односно од точката од која се набљудува. Еден ист светлински извор со конечни димензии може да се смета за точкест, ако се набљудува од растојание што е најмалку петпати поголемо од најголемата димензија на изворот. Но, не може да се смета за точкест ако тоа растојание е од ист ред на големина како и димензиите на изворот.

Светлинска јачина  $I$  [cd]

Светлинската јачина на еден точкест извор во определен правец се дефинира како количник помеѓу флуksот и елементарниот просторен агол во којшто се зрачел тој флуks.



$$I_{O-X} = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

Сл.7.3. Светлинска јачина

- Ако изворот зрачи светлина со иста јачина во сите правци, велеме дека е униформен.

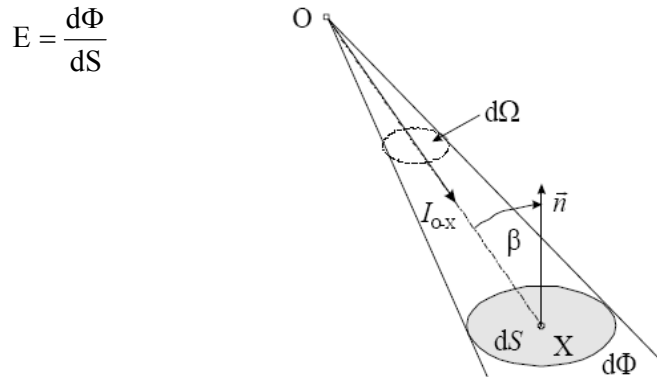
$$I = \frac{\Phi}{\Omega} = \frac{\Phi_{\text{izvor}}}{4 \cdot \pi}$$

- Ако изворот не е униформен може да се дефинира средна светлинска јачина во определен просторен агол.

Единица за светлинската јачина е кандела [cd]. Кандела е една од основните единици на Меѓународниот систем на мерни единици (SI).

Освєтленост  $E$  [ $\text{lx} = \text{lm}/\text{m}^2$ ]

Освєтленоста во една точка претставува густина на светлинскиот флукс  $d\Phi$  на елементарната освєтлувана површина  $dS$ .



Сл.7.4. Освєтленост

Ако површината врз којашто паѓа флуksот  $\Phi$  не е елементарна, тогаш освєтленоста во точките на површината не мора да биде еднаква и во тој случај се дефинира средна освєтленост.

Освєтленоста секогаш се дефинира во однос на освєтлуваната рамнина или во однос на некои референтни рамнини (хоризонтална или вертикална).

Единица за освєтленост е лукс [ $\text{lx}$ ].

Лукс е освєтленоста што се добива на површина со плоштина од еден квадратен метар кога на неа паѓа рамномерно распределен светлински флукс од еден лумен.

Сјајност  $L$  [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]

Сјајноста на една површина се дефинира како светлинска јачина на единица проектирана површина на светлечкото тело.

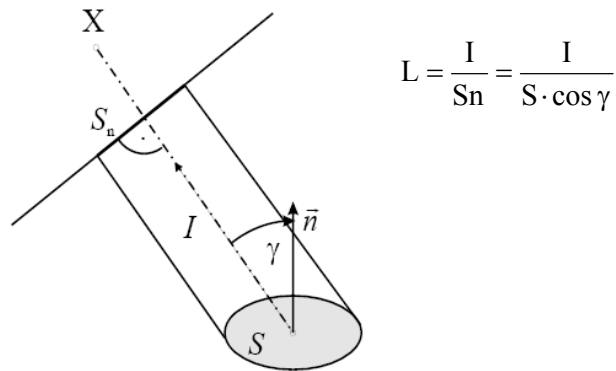
Во општ случај сјајноста зависи од локацијата на набљудувачот и од поставеноста на набљудуваниот елемент на површината на изворот, односно од правецот во кој се набљудува елементот на површината на изворот.

Сјајноста е единствена светлотехничка големина којашто човечкото око ја чувствува непосредно.

Во општ случај сјајноста зависи од локацијата на набљудувачот и од поставеноста на набљудуваниот елемент на површината на изворот, односно од правецот во кој се набљудува елементот на површината на изворот.

Единица за сјајност е кандела на квадратен метар [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ].

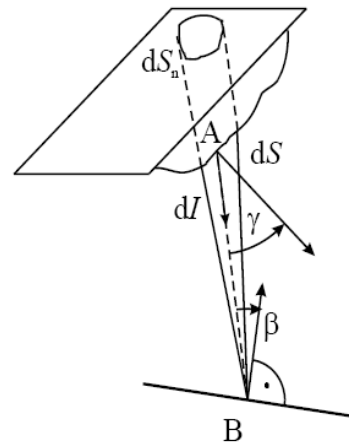
Ако површината на светлинскиот извор е рамна, со плоштина од еден квадратен метар и ако во правец на нормалата на својата површина изворот зрачи со светлинска јачина од една кандела, тогаш во правец на таа нормала сјајноста на изворот изнесува кандела на квадратен метар.



Сл.7.5. Сјајност

Сјајноста се пресметува како количник помеѓу светлинската јачина во набљудуваниот правец и плоштината на проекцијата на светлечкото тело врз рамнината нормална на правецот на набљудување.

$$L = \frac{dI}{dS} = \frac{dI}{dS_n \cdot \cos \gamma}$$



Сл.7.6. Пресметување на сјајност

### 7.1.3. Распределба на светлинската јачина

#### Фотометриско тело

Реалните светлински извори најчесто немаат еднакви светлински јачини во сите правци. Ако за еден светлински извор се познати светлинските јачини во сите правци, тогаш се вели дека е позната распределбата на светлинската јачина на изворот.

Податоците за светлинските јачини во одделни правци можат да бидат прикажани со помош на вектори. Ако од центарот на светилката се повлечат векторите на светлинската јачина во соодветните правци, нивните крајни точ-



ки образуваат затворена површина којашто се нарекува фотометриско тело на светилката (ФТ).

Фотометриското тело на една светилка содржи комплетна информација за просторната распределба на светлинската јачина на изворот. Центарот на светилката претставува центар на ФТ.

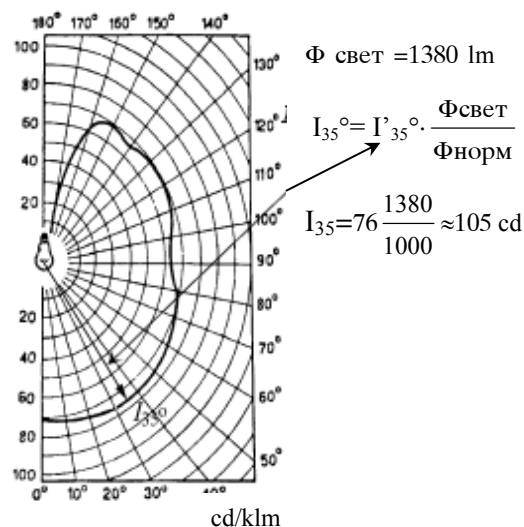
### Криви на распределба на светлинската јачина

Кривите на распределба на светлинската јачина претставуваат пресек на фотометриското тело на светилката со рамнини коишто поминуваат низ центарот на ФТ на светилката.

Ако ФТ е ротационо симетрично и ако рамнините поминуваат низ оската на симетрија, сите криви на распределба се еднакви.

За ротационо симетричните извори е доволно да се познава само една крива на распределба на светлинската јачина.

Кривите на распределба најчесто се прикажуваат како поларни дијаграми.



Сл.7.7. Криви на распределба на светлинската јачина кај ротационо симетрични тела

Дијаграмите на светлинската јачина редовно се даваат за светлински флуks од 1000 lm и се нарекуваат нормирани дијаграми. Бидејќи за секој извор постои директна пропорционалност помеѓу вкупниот флуks и светлинската јачина во одделни правци, познавањето на нормираниот дијаграм на распределба на светлинската јачина овозможува лесно определување на светлинската јачина за секоја вредност на светлинскиот флуks на изворот.

Доколку изворот нема ротационо симетрично фотометриско тело, не е доволно да се познава распределбата на светлинската јачина само во една полурамнина. Во тие случаи се даваат кривите на распределба на светлинската јачина во повеќе рамнини, одбрани на соодветен начин.

#### 7.1.4. Светлотехнички својства на телата

Во општ случај, ако на едно тело падне светлински флуks  $\Phi$ , еден дел од тој флуks ќе се одбие од телото, вториот дел ќе помине низ телото, а третиот дел ќе биде впиен од телото. Во зависност од карактерот на просторната распределба на одбиениот флуks, разликуваме: насочено, дифузно, полудифузно и мешано одбивање. Оваа поделба може да се примени и кај пропуштените флуksови.

##### Одбивање на светлина

Кај сите видови одбивање на светлината односот помеѓу светлинскиот флуks  $\Phi_r$ , што е одбиен од телото, и светлинскиот флуks  $\Phi$ , што на него паднал, се нарекува коефициент на одбивање или коефициент на рефлексивност.

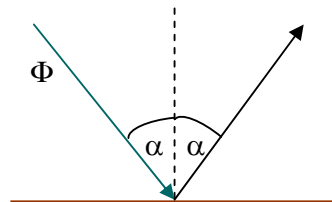
$$\rho = \frac{\Phi_r}{\Phi}$$

Коефициентот на рефлексивност зависи од спектарот на паднатата светлина. Усвоено е неговата големина да се определува при условно бела светлина, т.е. светлината што ја испушта идеалното црно тело при температура 5000 К.

- Насочено (огледално) одбивање на светлината

Кај насоченото одбивање на светлината (сл.7.8) правецот на одбиениот зрак е директно зависен од правецот по кој зракот паѓа на одбивната површина.

- Ваквиот начин на одбивање на светлината ги има следниве особини:
- зракот пред одбивањето, нормалата на одбивната површина и одбиениот зрак лежат во иста рамнина;
  - аголот што со нормалата го зафаќа зракот пред одбивањето е еднаков со аголот што го зафаќа одбиениот зрак со нормалата.



Сл.7.8. Насочено одбивање на светлината

Површините што се одликуваат со насочено одбивање се нарекуваат огледални површини или огледала. Насоченото одбивање настанува од мазни (полирани) метални површини, чии нерамнини се многу мали во споредба со брановата должина на паднатата светлина.

Таб.7. Коефициенти на насочено одбивање на некои материјали

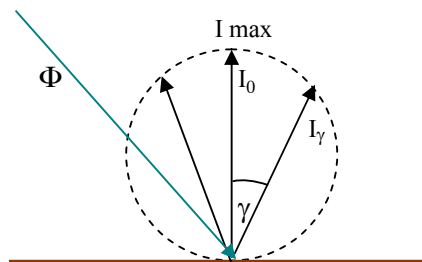
материјал	$\rho$
полирано сребро	0,88÷0,93
посребрено стаклено огледало	0,70÷0,85
стаклено огледало од амалгам	0,70
полиран алуминиум	0,65÷0,75
полиран алуминиум (нова технологија)	≈0,93
полиран хром	0,60÷0,70
полиран никел	0,55÷0,63

- Дифузно одбивање на светлината

Кај дифузното одбивање (сл.7.9) одбиениот светлински флуks е секогаш распределен во просторниот агол од  $2\pi$  радијани, независно од аголот под кој флуksот паднал на одбивната површина. Освен тоа, при дифузното одбивање распределбата на светлинската јачина на одбиената светлина е таква што крајните точки на радиус-векторите, чијашто заедничка почетна точка е точката на одбивањето и чијшто интензитет е еднаков на светлинската јачина на одбиената светлина во соодветниот правец, образуваат сфера што ја допира одбивната површина. Притоа, допирната точка е точката на одбивањето. Кај дифузното одбивање распределбата на светлинската јачина го задоволува Ламбертовиот закон, т.е. во произволен правец, определен со аголот  $\gamma$  во однос на нормалата на одбивната површина, светлинската јачина е:

$$I_{\gamma} = I_0 \cdot \cos \gamma$$

каде што со  $I_0$  е означена светлинската јачина на одбиената светлина во правец на нормалата на површината од која светлината се одбива дифузно.



Сл.7.9. Дифузно одбивање

Сјајноста на површината што одбива дифузно е еднаква во сите правци. Ако таа сјајност ја означиме со  $L_p$  и ако плоштината на одбивната површина ја означиме со  $\Delta S$ , тогаш, вкупниот одбиен флуks изнесува:

$$\Phi_p = \pi \cdot L_p \cdot \Delta S$$

Ако на одбивната површина паѓа рамномерно распределен флуks  $\Phi$ , тој на неа создава осветленост  $E$ , при што важи равенката:

$$\Phi = E \cdot \Delta S, \text{ или:}$$

$$\rho = \frac{\pi \cdot L\rho}{E} \text{ или } L\rho = \frac{\rho}{\pi} \cdot E$$

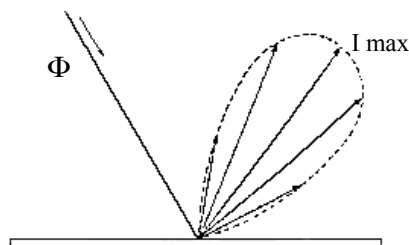
Сјајноста на една површина што одбива дифузно е директно пропорционална на нејзината осветленост, при што коефициентот на пропорционалноста е еднаков на  $\rho/\pi$

Таб.6. Коефициенти на дифузно одбивање на некои материјали

Материјал	Коефициент на дифузно одбивање
Магнезиум оксид	0,96
Бариум оксид	0,95
Алабастер (ситнозрнест бел гипс)	0,92
Бела боја	0,80

- Полудифузно одбивање

Кај полудифузното одбивање (сл.7.10) светлината се одбива делумно насочено, а делумно дифузно, притоа одбиената светлина има најголема светлинска јачина во правец што би го имала во случај на насочено одбивање. Овој вид одбивање се јавува кај матираните метални површини, површините бојадисани со масна боја, лакираните површини, порцеланските емајли и кај слични површини. Бидејќи кај овој вид одбивање распределбата на одбиениот флуks доста се разликува од распределбата пред одбивањето, ликовите во таквите огледала се нејасни и со помала сјајност.



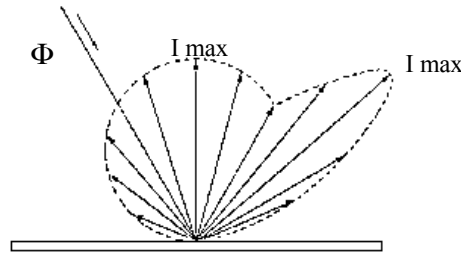
Сл.7.10. Полудифузно одбивање

- Мешано одбивање на светлината

Тоа е одбивање кај кое одбиената светлина е така распределена што во некои правци има особини на дифузно одбиена светлина, а во други има особини на насочено одбиена светлина (сл.7.11). Светлинската јачина на одбиената светлина има два максимуми: еден во правец на нормалата на одбивната

површина и друг во правец во кој би се одбила светлината во случај на насоченото одбивање. Кај површините што одбиваат мешано односот меѓу флуksот одбиен насочено и флуksот одбиен дифузно зависи од големината на аголот под кој светлината паѓа на одбивната површина, од измазнетоста на одбивната површина и од светлотехничките особини на материјалот од кој се одбива светлината.

Во поглед на ликовите што се создаваат по одбивањето од површините што одбиваат мешано, може да се рече дека тие уште повеќе се деформирани отколку кај полудифузното одбивање, а и нивната сјајност е помала.



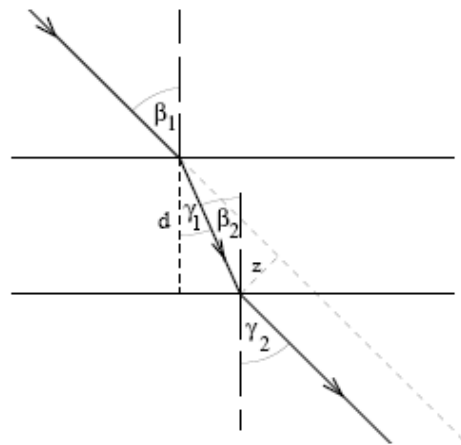
Сл.7.11. Мешано одбивање

Во материјалите што одбиваат мешано спаѓаат: млечното стакло, мермерот, порцеланскиот емајл и др.

*Пропуштање на светлината*

- Насочено пропуштање на светлината

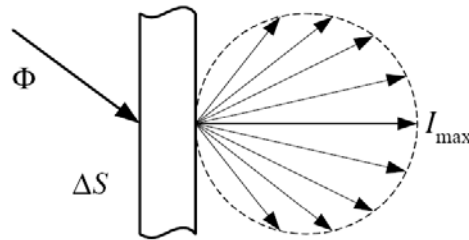
Кај насоченото пропуштање светлината (сл.7.12), минувајќи низ телата коишто пропуштаат насочено, ја задржува големината и обликот на просторниот агол. Светлечкото тело (извор на светлина или осветлуван објект) преку плоча којашто пропушта насочено се гледа јасно и неговиот лик не е деформиран.



Сл.7.12. Насочено пропуштање низ планпаралелна плоча

- Дифузно пропуштање на светлината

Кај дифузното пропуштање на светлината, распределбата на светлинската јачина на пропуштената светлина е според Ламбертовиот закон – сјајноста на материјалот што пропушта е еднаква во сите правци.

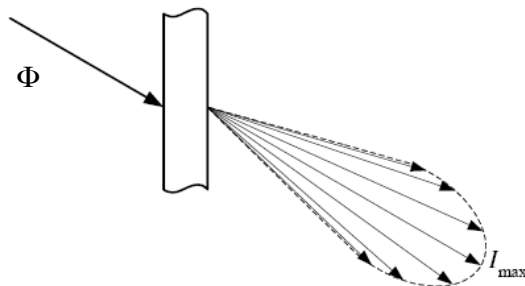


Сл.7.13. Дифузно пропуштање на светлината

Меѓу материјалите што дифузно пропуштаат светлина спаѓаат разни опални стакла (млечни стакла). Тие стакла се состојат од еднородна маса на провидно стакло во која се наоѓаат провидни честички од материјал со друг индекс на прекршување. Поради тоа, минувајќи низ опалното стакло, светлината многукратно го менува својот правец и како резултат на тоа пропуштената светлина е дифузна. Оваа дифузија ќе биде дотолку посовршена колку што се поситни и побројни внесените честички. За да не дојде до насочено пропуштање кај опалните стакла, потребно е тие да имаат голема концентрација на многу ситни честички, но тоа неминовно влијае врз намалувањето на коефициентот на пропуштањето. Наоѓаат примена при изработка на светла чијашто сјајност не треба да биде голема, дури и кога во нив се поставуваат светилки со голема сјајност.

- Полуидифузно пропуштање на светлината

Полуидифузното пропуштање (сл.7.14) се одликува со распределба на пропуштениот светлински флуks во поголем просторен агол, во споредба со просторниот агол во кој бил распределен пред пропуштањето.



Сл.7.14. Полуидифузно пропуштање на светлината

Притоа, максималната светлинска јачина е во истиот правец како и кога пропуштањето би било насочено.

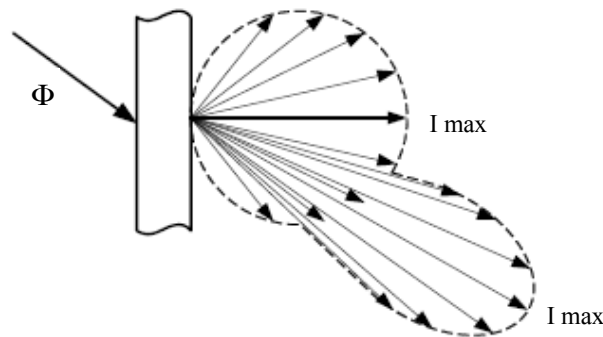
Меѓу материјалите што пропуштаат полудифузно најпознати се матираните стакла. Матирањето се изведува механички (со песочен млаз) или хемиски. Обично се матира само едната површина на стаклото.

Постигнатите коефициенти на пропуштањето зависат од начинот на матирањето и најчесто изнесуваат од 0,7 до 0,9. Материјалите што пропуштаат полудифузно се користат за слични намени како и материјалите што пропуштаат дифузно. Во тој поглед тие ги немаат особините на опалните стакла, но од нив се поевтини и имаат поголем коефициент на пропуштање. Тоа е причината што овие материјали имаат широка примена.

- Мешано пропуштање на светлината

Мешано пропуштање на светлината (сл.7.15) се јавува во случај кога дел од пропуштениот флуks има особини на дифузно пропуштен флуks, а другиот дел има особини на полудифузно пропуштен флуks.

Светлинската јачина на пропуштената светлина има два максимуми. Еден во правец на нормалата на излезната површина и друг во правецот по кој би се простирала светлината во случај на насочено пропуштање.



Сл.7.15. Мешано пропуштање на светлината

### Апсорпција на светлината

При одбивањето и пропуштањето на светлината е неизбежна и загуба на флуksот, како последица на впирањето (апсорпцијата) на светлината. Апсорпцијата на светлината се карактеризира со коефициент на апсорпција, што се дефинира како однос на флуksот впиен од телото, и флуksот што паѓа на телото. Коефициентот на апсорпција на светлината зависи од особините на материјалот од кој е направено телото, од температурата на телото и од брановата должина (фреквенцијата) на светлината. По правило, телата имаат поголем коефициент на апсорпција за зрачењата со помали бранови должини. Обичното стакло за прозорци добро ја пропушта видливата светлина, но не и ултравиолетовите зраци.

Таб.8. Светлотехнички карактеристики на некои материјали

материјал	коэффициенти (%)				n
	насочено одбивање	дифузно одбивање	пропуштање	впивање	
кварцно безбојно стакло (3 mm)	8	0	92	до 3	1,62
обично безбојно стакло (3 mm)	8	0	92	до 3	1,52
провидна акрилна пластика (3 mm)	8	0	92		1,49
опална акрилна пластика (3 mm)	4	10-15	50-80		
матирано стакло (механички)		12-15	72-85	3-8	
матирано стакло (хемиски)		9-13	75-89	2-12	
млечно стакло		30-76	10-66	4-28	
магнезиум оксид		96			
бариум оксид		95			
бела акрилна боја		80			

## 7.2. ЕЛЕКТРИЧНИ СВЕТИЛКИ

Од вештачките извори на светлина во светлотехничката пракса најмногу се користат тие што електричната енергија ја претвораат во светлинска енергија. Тие извори се нарекуваат електрични светлински извори или електрични светилки. Според начинот на настанувањето на светлината во нив, светилките можат да се поделат во две основни групи:

- светилки во кои светлината се добива од вжарено метално влакно и
- светилки во кои светлината се добива по пат на електрично празнење низ гас или пара.

Во првата група спаѓаат светилките со метално влакно и халогените светилки. Втората група е побројна. Во неа спаѓаат: флуоресцентните светилки, живините светилки со висок притисок, металхалогените светилки, натриумовите светилки со висок и со низок притисок, ксенонските светилки и други светилки со благородни гасови. Живините светилки со висок притисок и метално влакно би можеле да бидат и во едната и во другата група. Покрај наведените светилки, за специфични цели се користат специјални извори на светлина, во кои спаѓаат: електролуминисцентните панели, светлечките диоди, изворите на светлина со радиоактивни изотопи и ласери.

### 7.2.1. Светилки со метално влакно

Кај овие светилки влакното најпрво било изработувано од осмиум, потоа од тантал, а денес се прави од волфрам. Волфрамот е метал со висока температура на топење (3655 K), голема механичка цврстина и релативно



бавно испарува при високи температури. Чистот волфрам не се користи, бидејќи при загревање доаѓа до рекристализација, при што станува крт и непорен и поради тоа се додава ториумов оксид. За да се спречи оксидација на вжареното влакно, тоа се става во стаклен балон, чиј облик може да биде во вид на: круша, сфера, цевка, печурка или пламен на свеќа. Балоните се прават од стакло кое може да биде: провидно, матирано, опализирано, инколизирано (внатрешната страна на балонот е прекриена со тенок слој на силициум), обоено со определена боја или делумно метализирано. Кај првите светилки воздухот бил извлечен од балонот. Денес тоа се прави само кај светилките со мали моќности. Тие светилки често се нарекуваат вакуум-светилки. Кај светилките со метално влакно само мал дел од вложената електрична енергија се претвора во светлинска. Колкав ќе биде тој дел, во прв ред зависи од температурата на влакното. За да се постигне поголемо специфично производство, влакното на светилката треба да се загрее на повисока температура. На повисоки температури волфрамот побрзо испарува. Со тоа влакното станува потенко, а испарениот волфрам се таложи по ѕидовите на балонот. Двата ефекта влијаат врз намалувањето на светлинскиот флукс на светилката.

На повисоки температури се намалуваат пожелните механички својства на волфрамот, што условува скратување на трајноста на светилката.

Испарувањето на волфрамот може значително да се намали ако во балонот се постави инертен гас. Но, присуството на гасот во балонот го зголемува пренесувањето на топлината од влакното (по пат на конвекција). За таа цел подобри се инертните гасови што послабо ја пренесуваат топлината. Освен тоа, за да се намали површината на влакното од која се одведува топлината, влакното се изработува во вид на спирала или двојна спирала, а во специјални случаи (кај светилките за проекциски апарати) и во вид на тројна спирала. На тој начин е овозможено влакното да може да работи на повисока температура и, како последица на тоа, да има повисоко специфично производство. Како инертен гас, со кој се исполнува балонот, најчесто се користи аргон кој не стапува во реакција со вжареното влакно и е лош пренесувач на топлината. Аргонот има својство лесно да се јонизира и, кога во балонот би имало чист аргон, би можело да дојде до електрично празнење низ него, или помеѓу навивките на волфрамовата жица или помеѓу електродите на светилката. За да не дојде до тоа, се додава определен процент на друг гас, на пример, водород или азот. Спиралите се изработуваат од многу тенка волфрамова жица.



Сл.7.16. Светилка со метално влакно

Ако балонот е исполнет со криптон, одведувањето на топлината од влакното е полошо и испарувањето на влакното е послабо. Тоа овозможува влакното да

работи со малку повисока температура, поради што се постигнува поголемо специфично производство, без намалување на трајноста.

Поголем светлински флуks, а со тоа и поголемо специфично производство, има светилката предвидена за понизок напон. Светилката со поголема моќност има поголемо специфично производство.

Специфично производство е поголемо кај светилките чие влакно е со поголема спроводност, т.е. кое е подебело, што му овозможува да работи при повисока температура.

Одлика на светилките со метално влакно е појавата на големи струјни удари при нивното вклучување на мрежата. Тоа се должи на фактот што светилката која не е во погон, електричната отпорност на нејзиното влакно е 12–14 пати помала отколку во номиналниот погон.

### 7.2.2. Халогени светилки

Халогените светилки претставуваат усовршување на светилките со метално влакно. Вlakното од волфрам кај халогените светилки се наоѓа во балон од кварцно стакло, во кој, покрај инертен гас, има строго определено количество на некој од халогените елементи (најчесто јод или бром).



Сл.7.17. Халогени светилки

При определени физички и конструктивни услови присуството на халогените елементи овозможува настанување на регенеративен кружен процес. Испарениот волфрам се соединува со халогениот елемент. Добиениот халогенид на волфрамот има особина лесно да испарува на температури од 200 – 600 °C. Работните услови во светилката овозможуваат халогенидот на волфрамот да биде во гасна состојба, со што се спречува неговото таложење на сидовите на балонот.

Но, при навлегувањето на молекулите на халогенидот во зоните блиску до влакното, каде што температурата е повисока од 1200 °C, доаѓа до ослободување на атомите на волфрамот. При тоа се зголемува концентрацијата на волфрамовата пареа во околината на вжареното влакно, од каде што волфрамот се враќа на влакното во исто количество во коешто испарил. Така се постигнува влакното да не станува потенко и испарениот волфрам да не се натрупува по сидовите на балонот. Како резултат на постоењето на наведениот кружен

процес, халогените светилки имаат различни својства од светилките со метално влакно.

Нивните предности се:

- во текот на работниот век на халогената светилка светлинскиот флукс се намалува до 3%, додека кај обичните светилки со метално влакно тоа намалување може да изнесува 20 % и повеќе од тоа;
- поголемо специфично производство (12-25 lm/W) за моќности 5 –2000 W;
- повисока температура на работа (3000 – 3400 K);
- подолг работен век (околу 2000 h);
- стаклен балон со мали димензии.

### 7.2.3. Флуоресцентни светилки

Овие светилки се изработуваат во вид на цевка на чии краеве се поставени две спирални електроди. Електродите се направени од тенка волфрамова жица.



Сл.7.18. Флуоресцентни светилки

Цевката е исполнета со аргон, чија задача е да го олесни запалувањето на светилката. Покрај аргонот во цевката има и жива. Притисокот е мал. Кога низ живината пара ќе се воспостави електрично празнење, околу 60% од енергијата што зрачела е во вид на ултравиолетови зраци. За претворањето на тие зраци во видлива светлина се користат луминатори. Луминаторите се во вид на прав и се нанесени на внатрешната страна на цевката. Со разни луминатори се добива светлина со различна боја. При работа на флуоресцентните цевки најчесто се користат стартер и придушница, и тоа биметален или електронски стартер.

Биметалниот стартер е едноставен и евтин. Се состои од мала стаклена цевка во која има две електроди. Барем една од електродите е биметална. Цевката е исполнета со мешавина на аргон, хелиум и водород. Составот на гасот, неговиот притисок, обликот на електродите и нивната меѓусебна положба, треба да бидат поставени така што во стартерот ќе започне празнење низ гасот при напони пониски од напонот на мрежата на која светилката е приклучена, но повисоки од работниот напон на светилката. Поради зголемувањето на температурата, биметалната електрода се искривува и доаѓа до допир на двете електроди. Ослободената топлина служи за создавање поволни услови за започнување на празнењето низ гасот. Меѓутоа, од моментот на спојувањето на контактите на стартерот во него престанува да се одвива празнењето во гасот, т.е. престанува да се ослободува топлина. Стартерот се лади и по кусо време неговите контакти се раздвојуваат. Брзата промена на струјата низ придушницата условува брза промена на нејзиниот магнетен

флукс, а како последица на ова во придушницата се индуцира електромоторна сила и меѓу електродите на светилката се јавува силно електрично поле, кое ја интензивира јонизацијата на гасот и овозможува отпочнување електрично празнење низ светилката. По запалувањето на светилката, напонот на нејзините краеве (т.е. меѓу електродите на светилката) е доста понизок од погонскиот напон на мрежата.

- Флуоресцентните светилки ги имаат следните предности:

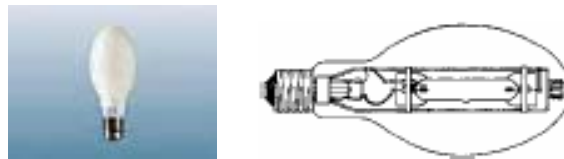
- релативно големо специфично производство;
- релативно ниска температура на површината на светилката (околу 40 °C);
- релативно мала сјајност (од 6000 до 11100 cd/m<sup>2</sup>, што овозможува користење поедноставни светла);
- можност за широк избор на боја на светлина;
- релативно мала зависност на светлинскиот флукс, електричната моќност и специфичното производство од погонскиот напон;
- можат да работат во која и да било положба.

- Недостатоци на флуоресцентните светилки се:

- траењето битно се намалува при зголемен број вклучувања на ден и при скратување на времето на предгревање;
- можна е појава на стробоскопскиот ефект;
- неопходни се стартерот и придушницата (со тоа цената се зголемува, а тие елементи можат да бидат предизвикувачи на дополнителни грешки и шумови);
- не можат да работат на ниски температури (освен специјалните видови).

#### 7.2.4. Живини светилки со висок притисок

Овие светилки се состојат од елипсоиден стаклен балон во чија внатрешност се наоѓа цевка од кварцно стакло наречена брениер. Температурата на површината од брениерот е 600 до 750°C, а работниот притисок 0,2 до 1,5 МПа. Во внатрешноста на брениерот се наоѓа аргон и живина пара под висок притисок. Низ оваа мешавина од гасови се врши електрично празнење, при кое значителен дел од енергијата што зрачела е во вид на ултравиолетови зраци. За да се претворат и тие зраци во видлива светлина, на внатрешната страна на стаклениот балон е нанесен слој на итриум ванадат со додаток на еуропиум.



Сл.7.19. Конструктивен изглед на живина светилка со висок притисок

Најчестата шема на поврзувањето на живината светилка со висок притисок е индуктивната, односно компензираната. Капацитивната врска ретко се применува бидејќи со неа времето на запалување е околу двапати подолго.

Трајноста на овие светилки зависи од должината на времето на горење по секое запалување. Постојат и живини светилки со висок притисок кои во стаклениот балон имаат вградено волфрамово спирално влакно, на ред врзано со брениот. За тие светилки не е потребна придушница и директно можат да се поставуваат во инсталациите наместо соодветните стандардни светилки со метално влакно. Малите димензии на светилките, релативно големиот флукс што може да го произведе една светилка, како и релативно ниските цени на живините светилки и соодветните придушници овозможуваат користење на ефикасни рефлекторски светла погодни за осветление на индустриски погони каде што светилките треба да се постават на големи растојанија над осветлуваните површини.

### 7.2.5. Металхалогени светилки

Металхалогените светилки се категорија на извори во кои светлината се произведува со празнење во гас под висок притисок.

Кај металхалогените светилки во брениот нема помошна електрода и во смесата од неон и аргон, покрај живата, се додадени халогенидите на некои метали или ретки земји.

Металхалогените светилки се произведуваат со балони во вид на елипсоид (со флуоресцентен прав на внатрешната страна) или во вид на цевка (со транспарентен балон и без прав).



Сл.7.20. Металхалогени светилки

Создавањето напонски импулси потребни за запалување на светилката се постигнува со уред наречен игнитор.

Факторот на моќност на струјните кола за напојување на металхалогените светилки може да биде доста низок, а се подобрува со користење на кондензатори. Бидејќи обезбедуваат добра репродукција на бојата, овие светилки често се применуваат за осветление на спортски објекти, театарски и телевизиски сцени, но можат да се користат и во стоковни куќи и индустриски хали. Специфичното производство зависи од моќноста на светилката и се движи од 65 до 93 lm/W.

### 7.2.6. Натриумови светилки со висок притисок

Кај натриумовите светилки со висок притисок електричното празнење се изведува во релативно мала стаклена цевка (брениот), поставена во поголем

стаклен балон. Освен натриумот, во внатрешноста на бренирот се наоѓа определено количество жива, која со натриумот создава амалгам и така го регулира притисокот во бренирот. За полесно стартување се додава ксенон. Надворешниот балон се изведува како: елипсоиден балон со флуоресцентен прав од внатрешната страна, цевчест балон од провидно стакло и печуркаст балон со рефлексен слој на делот од внатрешната површина. Овие светилки произведуваат златно-бела светлина чија температура на бојата е околу 2100 К.

За сите типови натриумови светилки со висок притисок е дозволена произволна положба на горење. При пропишаните работни услови, трајноста на овие светилки е околу 6000 часа, при што светлинскиот флукс ќе опадне за околу 15%.



Сл.7.21. Натриумови светилки со висок притисок

Додека е активен, игнаторот во комбинација со специјална придрушница (наречена баласт) дава напон со амплитуда 3000 – 4500 V.

Светилките со натриумова пара под висок притисок се употребуваат за осветление на улици, автопати, паркиралишта, плоштади, пристаништа, аеродроми, железнички и автобуски станици, споменици, фасади, градилишта, спортски објекти (за тренинг) и индустриски објекти во кои доброто распознавање на боите не е од битно значење за одвивање на работите и каде постојат услови светилките да бидат високо поставени (на пример: леарници, железарници, цементарници и слично).

Светилките со вграден рефлектор можат да се препорачаат за простории со повеќе прав и/или таму каде чистењето на светилките е поврзано со тешкотии.

### 7.2.7. Натриумови светилки со низок притисок

Овие светилки имаат балон во вид на цевка од транспарентно стакло. Електричниот приклучок се наоѓа на едниот крај од цевката. Во внатрешноста на балонот се наоѓа друга цевка, во вид на латинската буква U, направена од стакло што е отпорно на жешките натриумови пари. Во внатрешноста на цевката е сместена смеса од аргон и неон, на која е додадено точно определено количество натриум. На краевите на внатрешната цевка се поставени електроди. На електродите се наоѓа активна маса која интензивно емитува електрони, кои се неопходни за електрично празнење низ натриумовата пара.



Сл.7.22. Натриумови светилки со низок притисок

За ефикасно работење на овие светилки потребно е внатрешната цевка да има определена температура. Оптимална е температурата од 260 °C. За да се спречи одведувањето на топлина од внатрешната цевка (како со конвекција така и со кондукција), меѓу внатрешната цевка и надворешниот балон е вакуум. За да се намали и пренесувањето на топлина по пат на зрачење, на внатрешната страна на ѕидовите на надворешниот балон е нанесен слој на индиум оксид, што има задача да ги одбива инфрацрвените зраци што ги емитува внатрешната цевка. Слојот на индиум оксидот, меѓутоа, ги пропушта видливите зраци. Електричното празнење низ натриумовата пара во внатрешната цевка произведува жолта светлина со бранова должина од 589,0 и 589,6 nm. За приклучување на натриумова светилка со низок притисок на мрежа се користи придушница или автотрансформатор наречени со заедничко име баласт. Освен тоа, во повеќето случаи се користи и игнитор. Натриумовите светилки со низок притисок даваат практично монохроматска (жолта) светлина, што не овозможува добро распознавање на боите. Поради тоа, иако овие светилки имаат најголемо специфично производство, нивната примена е ограничена на местата каде распознавањето на боите не е пресудно за изведување на предвидените активности. Тие се користат главно за осветление на: автопатишта, крстосници во градовите, опасни места на патиштата, пристаништа, товарни железнички станици, аеродроми, градилишта, челичарници, леарници, каменоломи, фабрики на бетонски производи, сепарации на јаглен или руда, фасади на згради и сл.

### 7.3. СВЕТЛА

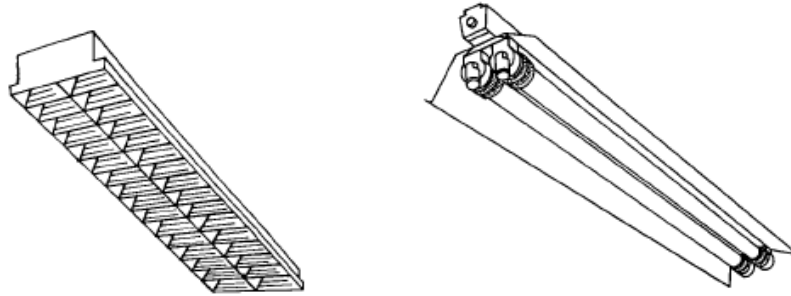
Светлата служат за прераспределба на светлинскиот флукс на светилките во саканите правци, но и да ги заштитат светилките од дејствата што штетно влијаат врз нив. Освен тоа, светлата обезбедуваат механичко прицврстување на светилките и го овозможуваат нивното поврзување на електричната инсталација. Во однос на барањата за прераспределба на светлинскиот флукс, од светлата може да се бара флуксот да го зрачи во мал просторен агол, во поголем просторен агол или во просторниот агол од  $4\pi$  стеррадијани. Условите во кои се поставуваат светлата можат да бидат најразлични: затворени суви и чисти простории, влажни простории, простории со агресивни гасови и пара, простории со запаливи гасови, отворени простории итн.

Според условите за кои се предвидени, разликуваме: светла за надворешна монтажа, светла за суви простории, светла за влажни простории, светла за простории со експлозивни гасови и пара, светла за простории со агресивни гасови и пара, светла за простории со висок плафон, светла за простории со многу прав итн.

Според тоа како го насочуваат светлинскиот флуks, се разликуваат:

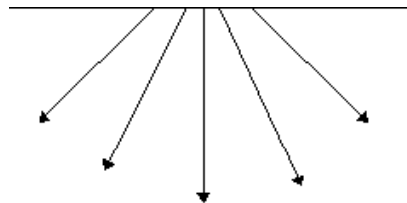
- светла за директно осветление

Светлата за директно осветление се одликуваат со тоа што кога оптичката оска им е поставена вертикално, со насока надолу, тие најмалку 90% од светлинскиот флуks што зрачел го насочуваат во долниот полупростор.



Сл.7.23. Светла за директно осветление

Овие светла даваат остри сенки. Кај нив е можна појава на директно и/или рефлексно блескотење.



Сл.7.24. Директно осветление

Се поставуваат на високи плафони, фабрички хали, надворешно (улично и рефлекторско) осветление, спортски терени и др.

- светла за полудиректно и мешано осветление

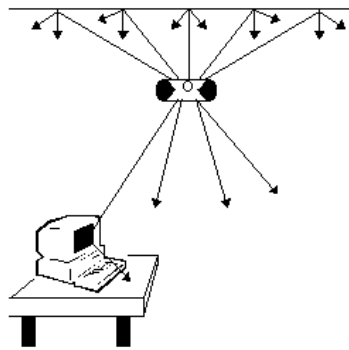
Светлата за мешано осветление, при вертикално поставена оптичка оска, со насока надолу, 40 до 60% од флуksот што зрачеле го насочуваат во долниот полупростор.





Сл.7.25. Светло за полудиректно и мешано осветление

При користење на овие светла значителен дел од флуksот доаѓа до осветлуваната површина по претходно одбивање од плафонот и ѕидовите. Тоа придонесува сенките да не бидат остри и тоа ја намалува можноста за појава на изразено рефлексно блескотење.



Сл.7.26. Полудиректно или мешано осветление

Овој вид светла се користи за осветление на: предавални, канцеларии, продавници и сл. Во случаите кога се користат светла за мешано осветление, добар коефициент на искористување на осветлението не може да се постигне кај темен плафон и/или темни ѕидови.

- светла за полуиндиректно и индиректно осветление

Светлата за полуиндиректно осветление, кога оптичката оска им е поставена вертикално, со насока надолу, во долниот полупростор зрачат од 10 до 40% од вкупниот светлински флуks.

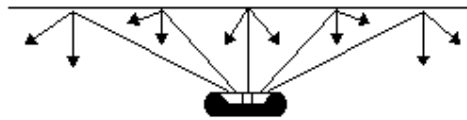
Кај светлата за индиректно осветление, ако оптичката оска им е поставена вертикално, со насока надолу, директно зрачат во долниот полупростор најмногу 10% од својот флуks. Така, најголемиот дел од светлинскиот флуks што паѓа на осветлуваната рамнина е флуksот одбиен од плафонот и ѕидовите.



Сл.7.27. Светлата за полуиндиректно и индиректно осветление

Со примената на вакви светла, поголемиот дел од флуksот што зрачел се насочува кон плафонот (и/или ѕидовите), од каде дифузно се одбива и паѓа на осветлуваната рамнина, осветлувајќи ја прилично рамномерно. Притоа, сенките се многу слаби и без остри граници, блескотењето не се јавува, а степенот на искористувањето многу зависи од состојбата на плафонот и ѕидовите.

Овие светла се погодни за осветление на станови, канцеларии, музеи и слично. Индиректното осветление дава практично незабележливи сенки, а блескотењето не се јавува ниту како директно ниту како рефлексно.



Сл.7.28. Индиректно осветление

Просторот е рамномерно осветлен, што остава пријатен впечаток. Таквото осветление се смета за луксузно. Подобно е за кина, театри, сали за концерти, изложбени павилјони и слични објекти. Степенот на искористување на ова осветление е мал и многу зависи од состојбата на плафонот и ѕидовите. Тоа е важна причина поради која индиректното осветление не се користи често.

Покрај чисто техничките аспекти, при изборот на светлото треба да се води сметка и за естетиката. Добро избраното светло хармонично се вклопува во амбиентот и придонесува за негово облагородување, и обратно. Затоа, изборот на соодветното светло за еден објект претставува битен услов во изготвувањето на добро светлотехничко решение.

### *Коефициенѝ на искористување на светлиното*

Електричните извори на светлина се нарекуваат светилки. За да може една светилка ефикасно да работи, неопходно е таа да биде поставена во уред преку кој ќе се обезбедува нејзиното напојување со електрична енергија, кој ќе ја заштитува од штетните надворешни влијанија и со кој ќе се обезбеди

соодветна просторна распределба на светлината што зрачи. Таквите уреди се нарекуваат светла.

Коефициентот на искористување на светлата е односот меѓу флуksот што го зрачи светлото и вкупниот флуks на сите светилки инсталирани во него (инсталиран флуks во светлото).

$$\eta_{sv} = \frac{\Phi_{sv}}{\Phi_{si}} < 1$$

Коефициентот на искористување на светлото е помал од еден. Неговата вредност зависи како од обликот и димензиите на светлото така и од светлотехничките особини на употребените материјали.

### *Коефициент на искористување на осветлението*

Коефициентот на искористување на осветлението е односот меѓу светлинскиот флуks што паѓа врз површината што треба да се осветли и вкупниот флуks што го произведуваат сите светилки инсталирани во светлото со кои се осветлува набљудуваната површина.

$$\eta = \frac{\Phi'}{\Phi} = \frac{\Phi'}{\eta_{si} \cdot \Phi_{si}} < 1$$

Од дефиницијата на коефициентот на искористување на осветлението е разбирливо дека тој е помал од единица. Неговата големина, главно, зависи од:

- обликот и димензиите на просторијата во која се наоѓа набљудуваната површина;
- висината на која се поставени светлата;
- светлотехничките особини на употребените светла;
- коефициентите на одбивањето на светлината од плафонот, од ѕидовите и од подот.

### **7.3.1. Системи за внатрешно осветление**

Во зависност од начинот на распоредување на светлата во просториите, се разликуваат два система на осветление: општо осветление и дополнително осветление.

#### *Општо осветление*

Ако во една просторија се постави определен број светла и тие по можност симетрично да се распределат, со цел да се постигне порамномерна осветленост, тогаш велме дека во просторијата има општо осветление. Во тој случај електричната инсталација на која се приклучени светлата е едноставна и не зависи од распоредот на опремата во просторијата (т.е. од распоредот на работните места).

Општото осветление ги има следните особини:

- создава приближно рамномерна осветленост во целата просторија, а со тоа и пријатен амбиент за работа;
- овозможува флексибилен избор на локации за работните места и на тој начин придонесува за подобро искористување на површината на просторијата;
- обезбедува поголема осветленост и во тие делови на просторијата каде тоа не е неопходно.

Поради тоа вкупните трошоци за ангажираната електрична моќност и потрошената електрична енергија се поголеми, отколку кога се користи друг систем на осветление.

#### *Дополнително осветление*

Дополнително осветление се користи за локално подобрување на осветленоста што е постигната со општото осветление. Овој систем се користи за осветление на релативно мали површини и за нивната околина, односно за осветление на објекти кои треба да бидат истакнати. Ова осветление најчесто се изведува со употреба на блиски светла, а поретко со употреба на оддалечени рефлектори.

Создавањето на поголема осветленост на помали површини има функционално и економско оправдување. Покрај другото, улогата на дополнителното осветление е да овозможи на секое осветлувано место потребната осветленост да се усогласи со карактерот на работните задачи, староста на корисниците на осветлението и карактеристиките на нивниот вид. Изворите на дополнителното осветление треба да бидат избрани и поставени така што не ќе предизвикуваат блескотење ниту кај еден од корисниците на осветлението во просторијата.

При примена на дополнителното осветление вообичаено е тоа да не биде многу поголемо од општото. Се препорачува со општото осветление да се обезбедува најмалку 20% од осветленоста што се постигнува со општото и дополнителното осветление.

Дополнителното осветление ги има следните особини:

- релативно едноставно обезбедување на потребната осветленост за квалитетно извршување одделни работни задачи, како и за прилагодување на потребната осветленост кон карактеристиките на видот на работникот;
- заштеда на трошоците за електричната енергија и моќноста;
- бара посложена електрична инсталација, за чие проектирање и изведување е неопходно однапред да се знае распоредот на опремата и локациите на работните места и
- ги ограничува можностите за промена на локациите на работните места, т.е. ги ограничува можностите за флексибилно користење на површината на просторијата.

## 8. ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗАМ

Електромагнетизмот ги проучува врските помеѓу електричните струи и магнетните појави. Некои од магнетните појави, односно појавата некои руди да го привлекуваат железото биле познати пред нашата ера. Зборот магнетизам потекнува од името на градот Магнезија во Мала Азија, во чија близина постоеле наоѓалишта на рудата магнетит ( $\text{FeOxFe}_2\text{O}_3$ ).

Поврзаноста меѓу електричните и магнетните појави ја открил данскиот физичар Ершted (H.C. Oersted), 1777–1851. Тој утврдил дека на магнетна игла која се наоѓа во близина на спроводник, низ кој протекува електрична струја, дејствува некоја сила.

Најголем придонес во проучувањето на електромагнетните појави дал францускиот физичар Ампер (A.M. Ampere), 1775–1863, кој утврдил дека магнетна сила постои и меѓу два спроводника низ кои протекува електрична струја и ја поставил молекуларната теорија на магнетизмот.

Магнет направен од материјал кој по природа има својство да привлекува железо или, пак, од феромагнетен материјал на кој таквото својство може да му се додели, односно може да се намагнетизира, се нарекува перманентен магнет.

Ако се внесе парче меко железо во просторот на постојан (перманентен) магнет и тоа ќе се здобие со магнетни својства, а со оддалечување од него ги губи тие својства. Ако наместо меко железо се внесе парче челик, тој се магнетизира и овие магнетни својства ги задржува и по оддалечувањето од магнетот.

Телото кое е магнетно само кога низ него поминува електрична струја се нарекува електромагнет.

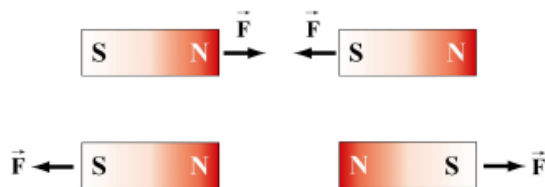
### 8.1. МАГНЕТНО ПОЛЕ

Просторот околу секој магнет или спроводник низ кој протекува електрична струја се нарекува магнетно поле.

Земјината топка претставува еден голем магнет. Во нејзиното магнетно поле секој подвижен магнет се ориентира така што едната страна му е свртена на север а другата на југ.

Магнетниот северен пол на Земјата се наоѓа на географскиот јужен пол и обратно, магнетниот јужен пол се наоѓа на географскиот северен пол на Земјината топка.

Секој магнет како и Земјата има два различни магнетни полови, северен **N** и јужен **S**. Истоимените полови се одбиваат, а разноимените се привлекуваат. Магнетните полови се нераздвојни и секогаш одат во пар.



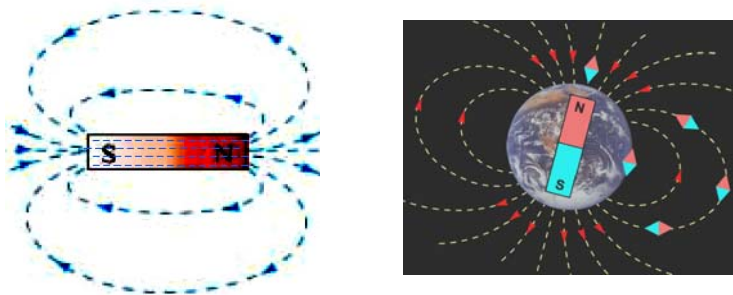
Сл.8.1. Привлечни и одбивни магнетни сили

Ако некој магнет се пресече, односно ако се подели на два или повеќе дела, тогаш секој од деловите на магнетот ќе има северен **N** и јужен **S** пол. Таквата појава се нарекува нераздвоеност на магнетните полови (сл.8.2)



Сл.8.2. Нераздвоеност на магнетните полови

Магнетните силиви линии се замислени линии кои ги прикажуваат интензитетот и насоката на магнетното поле. Магнетните силиви линии излегуваат од северниот пол на магнетот, потоа низ надворешниот простор, како затворени линии, влегуваат во магнетот од неговиот јужен пол и преку внатрешноста на магнетот од јужниот пол се враќаат и се состануваат повторно во северниот пол. Интензитетот на магнетните сили се прикажува преку густината на магнетните силиви линии и е најголем во близина на половите на магнетот (сл.8.3).



Сл.8.3. Магнетни силиви линии

### 8.1.1. Магнетно дејство на електричната струја

Ако се постави магнетна игла во близината на спроводник низ кој протекува електрична струја, таа ќе се отклони од рамнотежната положба, што значи дека околу спроводникот низ кој протекува електрична струја постои магнетно поле. Колкав ќе биде отклонот на магнетната игла зависи од јачината на струјата која протекува низ спроводникот. Ако насоката на струјата во спроводникот се промени, се менува и насоката на отклонот на магнетната игла. Отклонот на магнетната игла поставена во близината на спроводник низ кој протекува електрична струја е резултатот на заемното дејство на магнетното поле на иглата и магнетното поле кое го создава електричната струја која протекува низ спроводникот.

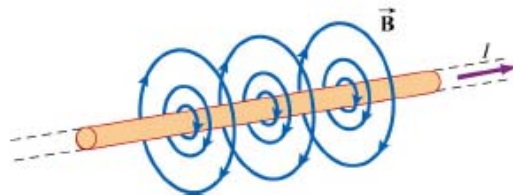
Насоката на магнетното поле околу спроводникот низ кој протекува струја се одредува со Амперовото правило на десната рака (сл.8.4).

За праволиниски спроводник ова правило гласи: ако со дланката на десната рака се обвие струјниот спроводник, а палецот се постави во насоката на струјата, тогаш свитканите прсти ја покажуваат насоката на магнетното поле.



Сл.8.4. Амперово правило на десната рака

- Магнетните силини линии кај праволиниски спроводник претставуваат затворени концентрични кружни линии и нивната густина, односно јачината на магнетното поле, се намалува со оддалечувањето од спроводникот (сл.8.5).



Сл.8.5. Магнетно поле кај праволиниски спроводник

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

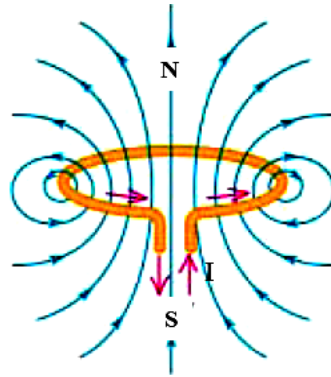
$H$  [A/m] – јачина на магнетно поле кај праволиниски спроводник

$I$  [A] – јачина на струја во спроводникот

$r$  [m] – нормално растојание од точката во која се разгледува јачината на магнетното поле до спроводникот

- Во внатрешноста на кружниот спроводник со една навивка магнетните силини линии имаат иста насока и се нормални на рамнината на спроводникот.  
За силините линии на магнетното поле на кружен спроводник со една навивка, карактеристично е дека спроводникот ги опфаќа сите силини линии, така што јачината на магнетното поле во просторот опфатен од спроводникот е многу поголема отколку надвор од него (сл.8.6).

Силовите линии влегуваат од едната страна, а излегуваат од другата страна на спроводникот, што значи дека кружниот спроводник се однесува како многу тенок магнет, познат како магнетен лист, со два пола северен **N** и јужен **S**.



Сл.8.6. Магнетно поле на кружен спроводник

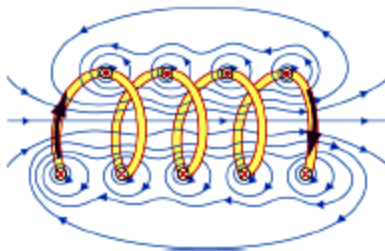
$$H \left[ \frac{\text{A}}{\text{m}} \right] = \frac{I}{2r}$$

$H$  [A/m] – јачина на магнетно поле кај кружен спроводник

$I$  [A] – јачина на струја во спроводникот

$r$  [m] – нормално растојание од точката во која се разгледува јачината на магнетното поле до спроводникот

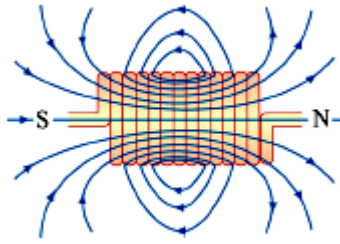
- Магнетното поле на соленоидот претставува збир од магнетните полиња на неговите навивки, т.е. магнетни листови. Соленоидот претставува намотка добиена со спирално навиткан спроводник по цилиндрична површина.



Сл.8.7. Магнетно поле во соленоид

Магнетното поле е најјакно во внатрешноста на соленоидот (сл.8.7), бидејќи на тоа место се најгусте магнетните силиви линии. Доколку се погусте навивките на соленоидот, дотолку магнетното поле ќе биде похомогено (сл.8.8).





Сл.8.8. Магнетно поле во соленоид со збиени навивки

Ако во внатрешноста на соленоидот се постави јадро од мек челик, доаѓа до нагло згуснување на магнетните силиви линии. Ваков соленоид со јадро од мек челик е наречен електромагнет. Разните видови електромагнети имаат широка примена во современите мерни инструменти и електрични машини, во телефонијата, во телеграфијата, сигналните уреди, електромагнетните релее и др.

$$H \left[ \frac{\text{A}}{\text{m}} \right] = \frac{n \cdot I}{L}$$

$H$  [A/m] – јачина на магнетно поле во соленоид

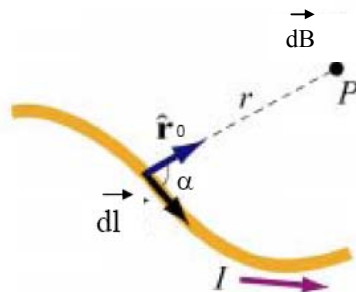
$I$  [A] – јачина на струја во соленоидот

$n$  – број на навивки во соленоидот

$L$  [m] – должина на соленоидот

### 8.1.2. Вектор на магнетна индукција

Магнетна индукција е големина која го одредува ефектот на магнетното поле. Магнетните силиви линии се нарекуваат линии на магнетна индукција.



Сл.8.9. Био-Саваров закон

$$d\vec{B} = \frac{\mu}{4\pi} \cdot \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}_0}{r^2}$$

$\vec{dB}$  – елементарен вектор на магнетна индукција

$Idl$  – диференцијален елемент на струја

$I$  – јачина на струјата

$\vec{dl}$  – вектор на елементарна должина на спроводникот

$r$  – растојание од  $\vec{dl}$  до точката  $P$

$\vec{r}_0$  – единечен вектор на меѓусебното растојание

$\mu$  – магнетна пермеабилност на средината

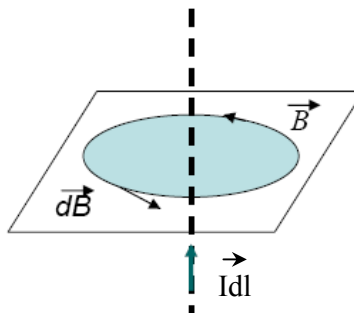
$$dB = |d\vec{B}| = \frac{\mu}{4\pi} \frac{Idl \sin \alpha}{r^2}$$

$dB$  – интензитет на векторот на магнетна индукција

$\alpha$  – агол помеѓу векторите  $\vec{dl}$  и  $\vec{r}_0$

Насоката на векторот на магнетната индукција се определува по правилото на десната рака (свитканите прсти покажуваат во насоката на помалиот агол од векторот на моментот на струјниот елемент кон векторот на растојанието додека палецот ја покажува насоката на векторот на магнетната индукција).

Био-Саваровиот закон го дава векторот на магнетната индукција во секоја точка од просторот во која е воспоставено магнетно поле околу струен елемент. Векторот на магнетната индукција во дадена точка во потполност го дефинира магнетното поле од аспект на способноста на полето да дејствува со сила врз друга струја во полето.



Сл.8.10. Вектор на елементарна магнетната индукција

Векторот на елементарната магнетна индукција е во рамнина нормална на векторот на елементарната должина на спроводникот. Магнетната индукција може да се изрази со равенството:

$$B[T] = \frac{\Phi}{S} \left[ \frac{Wb}{m^2} \right]$$

$B [T]$  – магнетна индукција

$\Phi [Wb]$  – магнетен флуks

Мерна единица за магнетната индукција е тесла (Т).

Тесла претставува густина на хомоген магнетен флуks кога 1 Wb поминува нормално низ некоја површина од 1 m<sup>2</sup>.

## 8.2. МАТЕРИЈА ВО МАГНЕТНО ПОЛЕ

Магнетните својства на материјата се условени од структурата на атомите. Електроните кои се негативно наелектризирани кружат околу јадрата на атомите со кружна фреквенција  $\omega$  при што создаваат елементарна кружна струја  $i$  придружена со магнетен момент кој е пропорционален на производот на кружната струја и површината  $dS$  која таа струја ја затвора.

$$idS = \mu_0 i r^2 \pi$$

$r$  – радиус на кружното движење на електронот

$\mu_0$  – апсолутна магнетна пермеабилност на вакуум

Вкупниот магнетен момент на некој материјал е еднаков на векторскиот збир на магнетните моменти на атомите од кои е составен тој материјал. Во поголемиот број случаи тој е одреден само од магнетните моменти на електронскиот спин, односно од движењето на електронот околу сопствената оска бидејќи магнетните моменти кои се јавуваат како резултат на движењето на електроните по орбитите меѓусебно се поништуваат.

Материјата во магнетно поле на некоја средина има различна магнетна индукција од материјата во магнетно поле на вакуум.

Магнетните својства на некоја средина се изразуваат преку апсолутната магнетна пермеабилност.

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

$\mu$  – апсолутна магнетна пермеабилност (пропустливост)

$\mu_0$  – апсолутна магнетна пермеабилност на вакуумот

$\mu_r$  – релативна магнетна пермеабилност

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} = 12,56 \cdot 10^{-7} \text{ [H/m]}$$

$$\mu_r = B/B_0$$

$B$  [T] – магнетна индукција во некоја средина

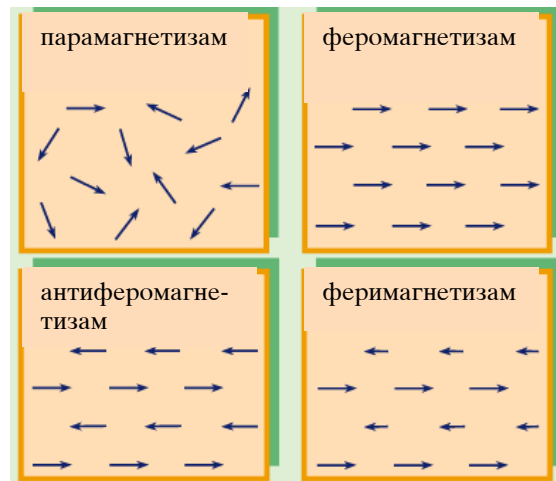
$B_0$  [T] – магнетна индукција во вакуум

Релативната магнетна пермеабилност покажува колку пати магнетната индукција во некоја средина е поголема или помала отколку истата во вакуум.

Повеќето материјали кога ќе се внесат во магнетно поле создаваат сопствено магнетно поле како резултат на движењето на електроните по орбитите во атомите од кои е составен материјалот. Како резултат на тоа движење и движењето на електроните околу сопствената оска (спин) се создава електрична струја и магнетно поле со одредена големина, односно магнетен момент. Магнетните моменти имаат различни правци и насоки и зависат од положбата на орбитите и насоката на движење на електроните.

Во однос на распределбата на магнетните моменти на соседните атоми, материјалите имаат различни магнетни својства и можат да се поделат на: дијамагнетни, парамагнетни, феромагнетни, антиферомагнетни материјали и феримагнетни материјали.

- Кога дијамагнетен материјал ќе се постави во магнетно поле, полето дејствува на одделни компоненти на резултантниот магнетен момент на атомите или на јоните. На тој начин се индуцира дополнителен магнетен момент во насока спротивна од полето. Кај дијамагнетните материјали резултантните магнетни моменти на атомите или на јоните се еднакви на нула. Ваквите материјали, ако се постават во нехомогено магнетно поле, полето ќе дејствува со сила која ги одбива. Кај нив  $\mu_r < 1$ . Најраспространети се во природата. Присуството на овие материјали во магнетното поле во мала мера го намалуваат дејството на полето. Дијамагнетните материјали се повеќето неметали, органските соединенија, металите (злато, бакар, цинк, олово и др.), полупроводниците, како што се: германиум, силициум, селен и некои гасови.



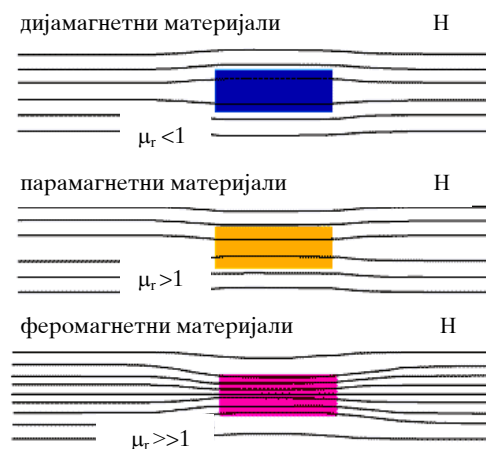
Сл.8.11. Распределба на магнетните моменти на соседните атоми кај различни материјали

- Парамагнетни материјали се материјали што поседуваат магнетен момент, односно кај нив резултантните магнетни моменти на атомите или јоните се различни од нула. Поставени во магнетно поле одделни магнетни моменти, како резултат на топлинските вибрации, повеќе или помалку се ориентираат во насока на полето, така што вкупниот магнетен момент станува различен од нула. Кај нив  $\mu_r > 1$ . Во магнетното поле на ваквите материјали дејствува сила во насока на полето која ги привлекува и заземаат положба паралелна со линиите на магнетната индукција на полето и незначително го зголемуваат дејството на полето. Познати се и под името парамагнетици, а такви се: алкалните метали, манганот, платината, алуминиумот, магнезиумот, танталот, волфрамот и некои гасови.
- Во кристалната решетка кај некои метали и легури меѓу соседните магнетни моменти се јавуваат јаки сили кои настојуваат да ги ориентираат паралелно. Во одделни делови на металите, иако нема надворешно магнетно поле, сите магнетни моменти, спротивставувајќи се на топлинските вибрации, се ориентираат повеќе или помалку во иста насока, што значи дека спонтано се магнетизираат. Вкупниот магнетен момент еднаков е на нула. Под дејство на надворешното магнетно поле се слу-

чува паралелна ориентација на магнетните моменти во насока на полето, така што феромагнетните материјали поставени и во слаби магнетни полиња се магнетизираат силно. Со зголемување на температурата се намалува спонтаното магнетизирање, односно ориентираноста на магнетните моменти и на одредена температура, т.н. Curie-Кириева температура, потполно го снемува.

Кај нив  $\mu_r \gg 1$ . Името го добиле од латинскиот назив за железо „ferrum“. Имаат силно изразени магнетни својства за кои не е доволно само поседувањето на магнетниот момент, туку е важна и поставеноста на електроните со некомпензиран спин на магнетни моменти да се наоѓаат во внатрешните орбити на атомите. Внесени во магнетно поле значително го зголемуваат дејството на полето. Најпознати феромагнетици се железото, никелот, кобалтот и некои нивни легури како и легурите на неферомагнетните материјали, како што се легурите на манганот, бизмутот, бакарот, алуминиумот и др.

- Антиферомагнетни материјали се материјали кај кои распределбата на магнетните моменти на соседните атоми е таква што тие се еднакви со спротивната насока. Нивните магнетни моменти се поништуваат на температура од апсолутна нула. На повисоки температури се нарушува паралелноста на магнетните моменти во одделни делови на кристалната решетка и под дејство на магнетно поле, резултантниот магнетен момент е различен од нула. Антиферомагнетните материјали се оксиди на: манганот (MnO), железото (FeO), никелот (NiO) и кобалтот (CoO), како и некои метали, како манганот, хромот и др.
- Појавата магнетните моменти на соседните атоми или на јоните во одредени делови на кристалите, како резултат на нивното меѓусебно дејство, делумно да се поништуваат се нарекува феримагнетизам. На температури повисоки од Кириевата температура феримагнетните материјали стануваат парамагнетни. Феримагнетни материјали се и некои ферити со кубна и хексагонална структура.



Сл.8.12. Промена на јачината на магнетното поле во присуство на различни материјали

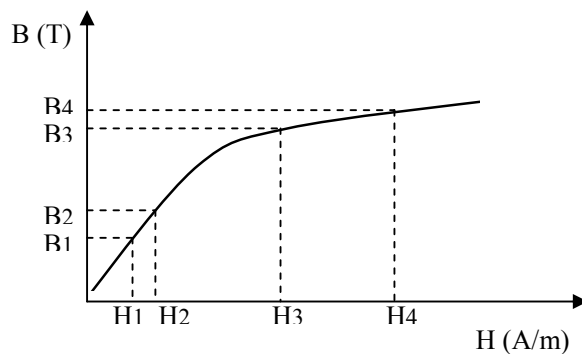
Таб.9. Релативна магнетна пермеабилност

<i>дијамагнетници</i>	
бакар	0,999990
бизмут	0,999993
водород	0,999999
кварц	0,999985
<i>парамагнетници</i>	
алуминиум	1,000025
воздух	1,000004
ебонит	1,000014
кислород	1,000002
<i>феромагнетници</i>	
железо	50-7000
динамо-лим	5000
кобалт	220
пермалој	1000000

### 8.3. СВОЈСТВА НА ФЕРОМАГНЕТНИ МАТЕРИЈАЛИ

Кога феромагнетен материјал ќе се најде во магнетно поле, тој се магнетизира.

На сл.8.13 дадена е зависноста на магнетната индукција  $B$  од јачината на магнетното поле  $H$  кај феромагнетни материјали.



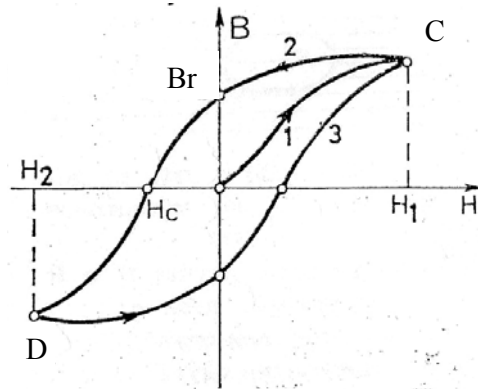
Сл.8.13. Крива на магнетизирање

При мали вредности на јачината на магнетното поле  $H$ , магнетната индукција  $B$  многу брзо расте, додека при поголеми вредности на  $H$ , порастот е незначителен и во тој случај настанува магнетно заситување.

Кривата на магнетизирање ја дава зависноста на магнетната индукција од јачината на магнетното поле:

$$B = \mu \cdot H$$

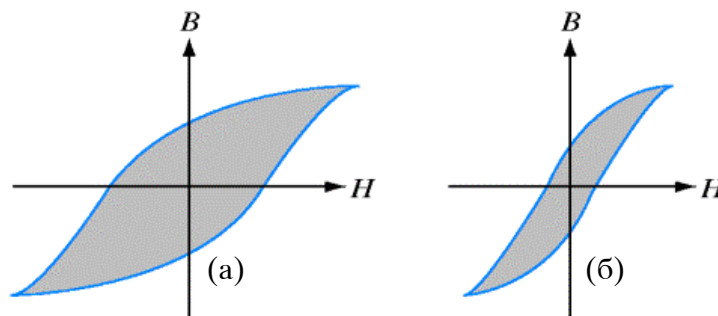
Зависноста на магнетната индукција од јачината на магнетното поле за феромагнетните материјали (сл.8.14), се испитува на тој начин што се менува јачината на магнетното поле со менување на јачината на струјата во даден соленоид.



Сл.8.14. Магнетен хистерезис

Во почетокот, со зголемување на јачината на магнетното поле, речиси линеарно расте и магнетната индукција (крива 1). Со понатамошното зголемување на јачината на магнетното поле  $H$ , порастот на магнетната индукција  $B$  е сè помал, така што за одредена вредност на јачината на магнетното поле магнетната индукција останува константна на својата максимална вредност. Понатамошното зголемување на јачината на магнетното поле не доведува до пораст на магнетната индукција. Оваа состојба е наречена магнетна заситеност (точка  $C$ ). Со намалување на јачината на струјата во соленоидот се намалува и јачината на магнетното поле, а со тоа се намалува и вредноста на магнетната индукција, но не се враќа по истата крива 1, туку по кривата 2. Кога јачината на магнетното поле  $H$  ќе постигне вредност нула, магнетната индукција  $B$  не е нула, туку има некоја вредност  $B = B_r$ . Оваа вредност на магнетната индукција е наречена заостанат или реманентен магнетизам кај феромагнетниот материјал. Ако во соленоидот се пушти струја со спротивна насока од првобитната, јачината на магнетното поле ќе расте во спротивна насока, сè дотогаш, додека магнетната индукција не постигне вредност нула, а притоа ќе се намалува и вредноста на реманентниот магнетизам. Јачината на магнетното поле  $H_c$  потребна за совладување на силата, која во феромагнетикот ги држи ориентирани магнетните моменти, се нарекува коерцитивна сила. Од овој момент, со понатамошното зголемување на јачината на магнетното поле, магнетната индукција расте во спротивна насока, сè додека повторно не ја постигне својата максимална вредност (точка  $D$ ) за вредност на магнетното поле  $H_2$ . Во оваа точка повторно доаѓа до магнетно заситување. Кога јачината на магнетното поле ќе се намалува и повторно ќе постигне вредност нула, реманентниот магнетизам ќе има спротивна насока. На крајот, ако јачината на магнетното поле повторно расте во позитивна насока, магнетната индукција расте по кривата 3, така што во точката  $C$  постигнува повторно магнетно заситување.

Кривата која го опфаќа магнетизирањето и размагнетизирањето на феромагнетниот материјал, се нарекува хистерезисна крива, а самата појава хистерезис. Познавањето на обликот на хистерезисната крива има големо техничко значење. Од таа крива може да се добијат многу важни податоци за особините на феромагнетните материјали, како што се: големината на реманентниот магнетизам, коерцитивната сила, потребната енергија за магнетизирање, загубите на енергија при магнетизирањето и др. За секоја феромагнетна материја постои определена површина ограничена од нејзината крива на хистерезис. Големината на оваа ограничена површина е пропорционална со загубите на енергијата при магнетизирањето.



Сл.8.15. Криви на хистерезис: (а) – за челик; (б) – за меко железо

Вештачки трајни магнети (перманентни магнети) се изработуваат од феромагнетни материјали со голем реманентен магнетизам и значителна коерцитивна сила, како што е челикот.

Ако во внатрешноста на некој соленоид се внесе јадро од феромагнетен материјал, се добива многу пати посилен магнет, наречен електромагнет. Со оглед на тоа што површината на хистерезисната крива кај мекото железо е многу помала, а тоа значи многу помали загуби во енергијата за магнетизирање, при изработка на електромагнетите за јадро се употребува меко железо.

#### *Поделба на феромагнетни и феримагнетни материјали*

Феромагнетните и феримагнетните материјали може да бидат магнетномеки и магнетнотврди материјали. Магнетномеките материјали се одликуваат со висока пермеабилност, мала површина на хистерезис и мала коерцитивна сила. Магнетнотврдите материјали имаат широка површина на хистерезис, голема коерцитивна сила, тешко се магнетизираат и размагнетизираат. Магнетномеки материјали се: магнетните лимови од железо легирано со силициум, некои легури како што се: Ni-Fe, меките ферити и др. Магнетнотврди материјали се некои легури како што се: Al-Ni-Fe, Al-Ni-Co-Fe и др.

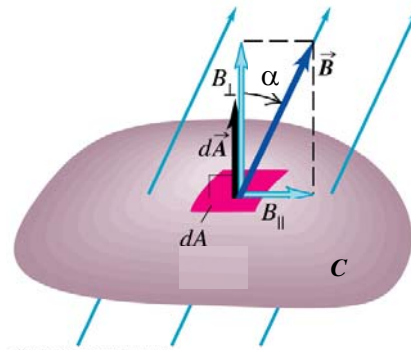


### Практична примена на електромагнетите

Електромагнетите со своите карактеристики имаат поголема практична примена од перманентните магнети. Со прекинување на електричната струја, која протекува низ даден електромагнет, се прекинува и неговото магнетно дејство, додека со промена на јачината на струјата се менува јачината на магнетното поле. Со примена на електромагнетите се добиваат извонредно јаки магнетни полиња. Примената на електромагнетите е многустрана, почнувајќи од електричното свонче, телеграфските апарати, разните релеи, електромагнетната дигалка, електричните мерни инструменти, па сè до цела низа автоматски уреди што служат за управување кај електричните, телеграфските и телефонските центри.

## 8.4. МАГНЕТЕН ФЛУКС

Магнетен флуks претставува збир на магнетни силиови линии кои поминуваат низ некоја површина, и е еднаков на површинскиот интеграл на векторот на магнетната индукција.



Сл.8.16. Магнетен флуks

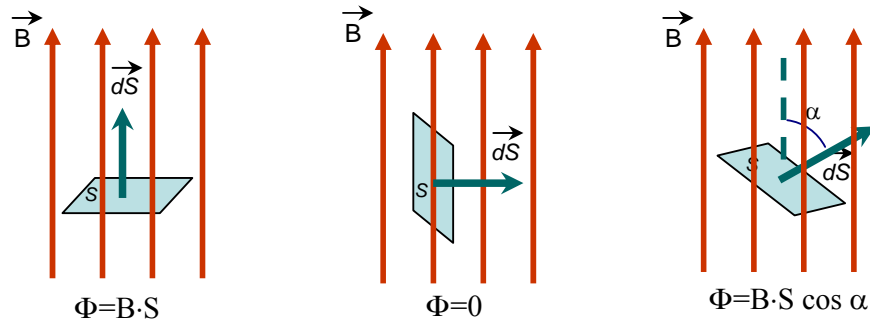
Флуks на векторот на магнетната индукција  $\vec{B}$  се дефинира во однос на некоја површина S:

$$\Phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int_S B \cdot dS \cos \alpha$$

$\vec{B}$  – вектор на магнетна индукција

$d\vec{S}$  – вектор чиј интензитет е елементарната површина dS и има насока нормална на површината S

За хомогено поле со вектор на магнетна индукција  $\vec{B}$  и рамна површина S, магнетниот флуks е:  $\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S}$



Сл.8.17. Магнетен флуks за хомогено магнетно поле

Флуksот на векторот на магнетната индукција е скаларна големина и може да има позитивна или негативна вредност во зависност од меѓусебните положби на векторите на полето и површината.

Флуksот ја постигнува својата максимална вредност кога површината е нормална на линиите на магнетната индукција, а кога површината е паралелна, вредноста на флуksот е нула.

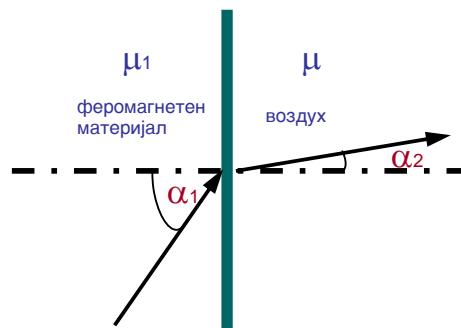
Единица за магнетен флуks е Wb (вебер)

$$1\text{Wb} = \text{T} \cdot \text{m}^2 = \text{Vs}$$

Промената на флуksот од 1Wb во секунда индуцира ЕМС од 1V.

#### 8.4.1. Премин на магнетен флуks од еден медиум во друг

Ако магнетниот флуks наидува под кос агол меѓу два медиуми со различна пермеабилност, на тоа место доаѓа до промена на густината на магнетниот флуks како и до промена на неговата насока.



Сл.8.18. Премин на магнетен флуks од еден медиум во друг

Промената на насоката се определува преку законот за прекршување на магнетните силинови линии, односно:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 / \operatorname{tg} \alpha_2 = \mu_1 / \mu_2$$

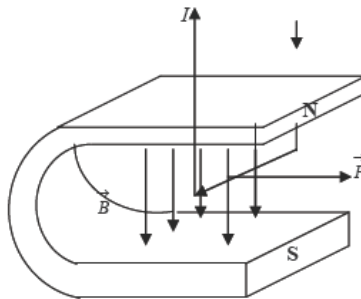
Преку овој закон се дава зависноста на излезниот агол  $\alpha_2$  од упадниот  $\alpha_1$ , од пермеабилноста на двата медиуми. Аглите се мерат од нормалата која што ја пресекува граничната линија меѓу двата медиуми. Феромагнетните материјали имаат многу поголема пермеабилност од воздухот и магнетните силиви линии кои проаѓаат во воздухот под многу голем кос агол од граничната површина ќе излегуваат речиси под прав агол.

## 8.5. ЕЛЕКТРОМАГНЕТНА СИЛА

Електромагнетна (Амперова) сила е сила со која магнетното поле дејствува на спроводник низ кој протекува струја, поставен во внатрешноста на полето.

Електромагнетната сила го придвижува спроводникот како резултат на меѓусебно дејство на двете магнетни полиња: магнетното поле на перманентниот магнет и магнетното поле на електричната струја во спроводникот.

Спроводникот ќе се придвижи во насока каде што резултантното магнетно поле е со помала јачина.



Сл.8.19. Електричен спроводник во хомогено магнетно поле

Насоката на движење на спроводникот се определува преку Флеминговото правило на левата рака.



Сл.8.20. Флемингово правило на левата рака

Ако трите прсти се постават нормално еден на друг како на сликата (во случај на хомогено магнетно поле и праволиниски спроводник), палецот ја дава насоката на движење на спроводникот.

Зависноста на електромагнетната сила од магнетната индукција, должината на спроводникот и јачината на струјата дадена е со релацијата:

$$F = BIL - \text{Амперов закон за електромагнетна сила}$$

Ако спроводникот е поставен под некој агол во однос на магнетните силиви линии, тогаш:

$$F = BIL \sin \alpha$$

$F$  [N] – сила која дејствува на спроводник со струја во магнетно поле

$L$  [m] – активна должина на спроводникот

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

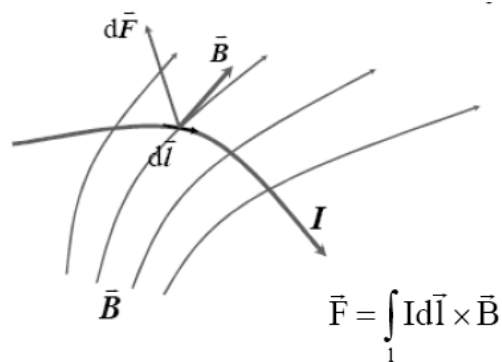
$B$  [T] – магнетна индукција

$\alpha$  – агол кој го зафаќа спроводникот со правецот на магнетните силиви линии

Преку Амперовиот закон за електромагнетна сила може да се определи магнетната индукција на хомогено магнетно поле:

$$B[T] = \frac{F}{I \cdot L}$$

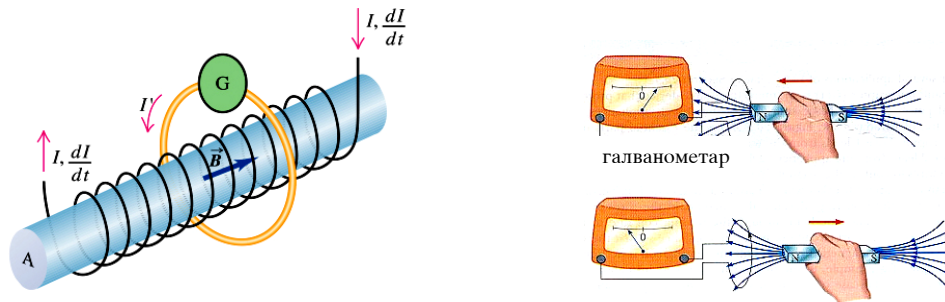
За нехомогено магнетно поле и спроводник со произволен облик векторот на електромагнетната сила е претставен на сл.8.21.



Сл.8.21. Електромагнетна сила во нехомогено магнетно поле

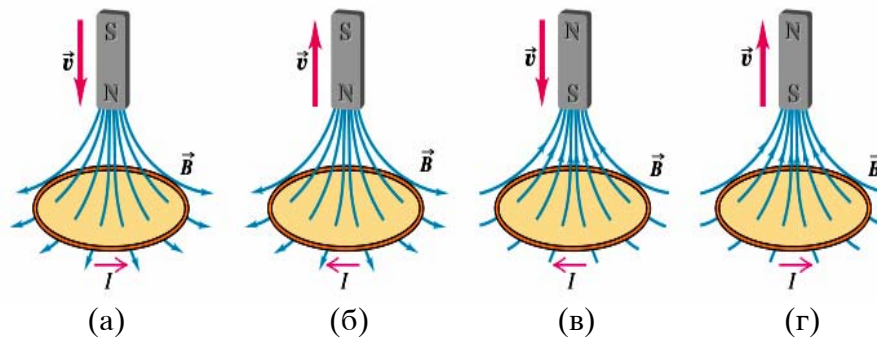
## 8.6. ЕЛЕКТРОМАГНЕТНА ИНДУКЦИЈА

Електричната струја предизвикува појава на магнетно поле, а под одредени услови магнетно поле може да предизвика појава на електрична струја. Оваа појава експериментално успеал да ја реализира англискиот физичар М. Фарадеј (1831г.). Тој ги поставил принципите на електромагнетната индукција.



Сл.8.22. Електромагнетна индукција

Ако во внатрешноста на солениод кој не е поврзан со електричен извор (сл.8.22) се вовлече перманентен магнет, низ солениодот ќе се појави краткотрајна струја. Истата појава се случува и при извлекување на магнетот при што стрелката на галванометарот се отклонува во спротивна насока. Појавата е електромагнетна индукција. ЕМС што се создава како резултат на оваа појава се нарекува индуцирана електромоторна сила, а струјата која се појавува низ спроводникот е индуцирана струја.



Сл.8.23. Промена магнетниот флуks и појава на индуцирана струја

Индуцирана струја се јавува и кога перманентен магнет ќе се вовлече и/или извлече од кружен спроводник кој има една навивка (сл.8.23). Насоката на вака создадената индуцирана струја ќе биде спротивна доколу перманентниот магнет се извлече од кружниот спроводник (сл.8.23.б) во однос на насоката на струјата која се појавува при вовлекување на магнетот во внатрешноста на кружниот спроводник (сл.8.23.а).

Насоката на индуцираната струја ќе се промени и доколку перманентниот магнет со спротивниот магнетен пол се вовлече (сл.8.23.в) или извлече од внатрешноста на кружниот спроводник (сл.8.23.г).

Индуцираната струја се јавува како последица на промената на магнетниот флуks при движење на магнетот во спроводникот.

Во опишаните начини на создавање променлив магнетен флуks, насоката на индуцираната ЕМС и насоката на индуцираната струја се менуваат во зависност од тоа дали флуksот низ навивките се зголемува или се намалува.

Индуцираната ЕМС во затворено коло е пропорционална на брзината на промена на флуksот низ контурата.

$$e = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$e$  [V] – индуцирана електромоторна сила  
 $\Delta\Phi$  [Wb] – промена на магнетниот флуks  
 $\Delta t$  [s] – времетраење на промената  $\Delta\Phi$

За намотка со повеќе навивки, магнетниот флуks кој ги зафаќа свиоците на намотката се нарекува синцирест флуks, а индуцираната ЕМС по намотка се определува од изразот:

$$e = -n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$n$  – број на навивки во намотката

Во изразот на Фарадеевиот закон негативниот знак (-) го изразува Ленцовиот закон, кој гласи: Насоката на индуцираната ЕМС е таква што струјата која што таа ја создава настојува со своето магнетно дејство да се спротивстави на причината за електромагнетната индукција.

Откривањето на електромагнетната индукција е од огромно значење за развитокот на електротехниката, а претставува основа за изградба на електричните генератори кои се користат за производство на електрична енергија.

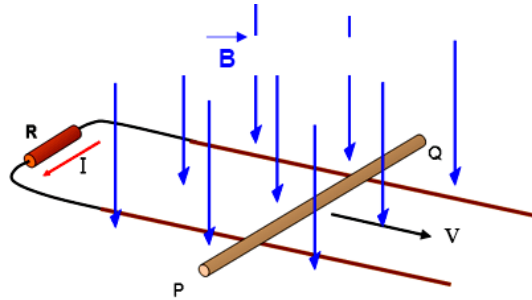
### 8.6.1. Напон на поместување

Промена на магнетниот флуks настанува и кога спроводник кој не е поврзан со електричен извор ќе се придвижи, односно ќе се помести во внатрешноста на магнетно поле на перманентен магнет.

Како последица на промената на магнетниот флуks се јавува индуцирана ЕМС. Вака создадената индуцирана ЕМС се нарекува напон на поместување. Индуцирана ЕМС кај праволиниски спроводник кој се движи нормално на правецот на магнетните силиви линии се определува со изразот:

$$e = BLv$$

$L$  [m] – должина на праволинискиот спроводник  
 $v$  [m/s] – брзина на движење на спроводникот



Сл.8.24. Напон на поместување

- Ако насоката на движење на спроводникот е под некој агол  $\alpha$  со правецот на магнетните силиви линии, тогаш:

$$e = BLv \sin\alpha$$

- Во случај кога спроводникот е поставен под некој агол  $\beta$  во однос на линиите на магнетната индукција, тогаш:

$$e = BL \cos\beta v$$

Ако и насоката на движење на спроводникот е под некој агол  $\alpha$  со линиите на магнетната индукција, тогаш:

$$e = BL \cos\beta v \sin\alpha$$

- За спроводник кој не е праволиниски, индуцираната ЕМС се определува за елементарна должина на спроводникот:

$$de = B dL v$$

Ако и насоката на поместување на спроводникот и неговата поставеност се под некој агол во однос на магнетните силиви линии, тогаш:

$$de = B dL \cos\beta v \sin\alpha$$

Електромагнетната индукција претставува основа за изработка на електричните машини како што се електричните генератори кои се користат за производство на електрична енергија.

### 8.6.2. Самоиндукција и меѓусебна индукција

Секоја промена на јачината на струјата која протекува низ даден спроводник предизвикува промена на магнетното поле кое се јавува околу тој спроводник како резултат на струјата која протекува низ него.

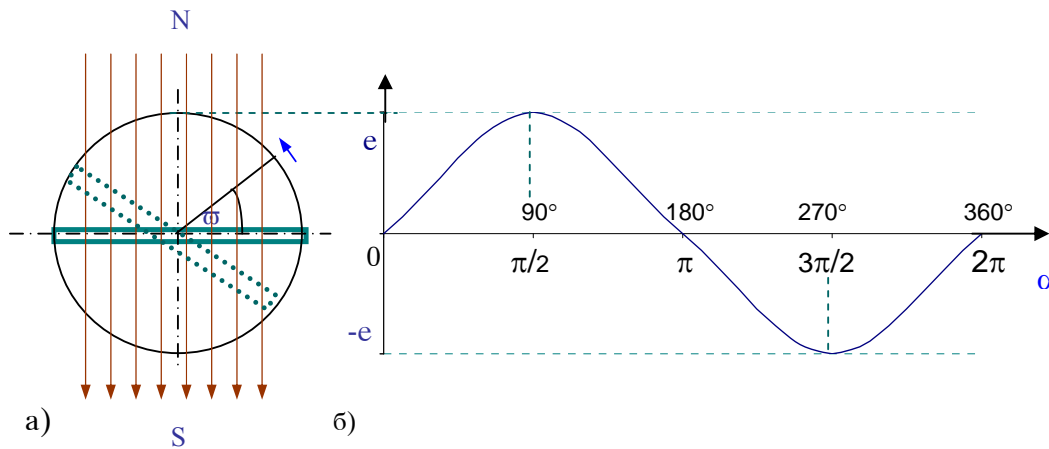
Кога во спроводник протекува променлива струја околу него се создава променливо магнетно поле, кое е предуслов во спроводникот да се индуцира ЕМС.

- Ако промената на флуксот во намотка со  $n$  навивки е настаната како резултат на промената на јачината на струјата којашто проаѓа низ самата намотка, во неа ќе се индуцира напон што се нарекува напон на самоиндукција, а самата појава се нарекува самоиндукција.
- Меѓусебна индукција настанува меѓу две или повеќе намотки кога променливата струја во една намотка (примар) создава променливо магнетно поле коешто во другите намотки (секундари), индуцира некој напон.



## 9. НАИЗМЕНИЧНА СТРУЈА И НАИЗМЕНИЧЕН (ПРОМЕНЛИВ) НАПОН

За да се објасни начинот на добивање наизменична струја се разгледува метална рамка во хомогено магнетно поле којашто се движи со константна брзина (сл.9.1а). При вртење на рамката во магнетното поле се создава индуцирана ЕМС чија насока се определува според Ленцовото правило. Ако рамката се заврти од  $0^\circ$  до  $180^\circ$ , индуцираната ЕМС има една насока, а ако се заврти од  $180^\circ$  до  $360^\circ$ , има спротивна насока.



Сл.9.1. Создавање на наизменична струја: а) метална рамка во хомогено магнетно поле; б) графички приказ на индуцираната ЕМС како синусоидна периодична функција

Индуцираната ЕМС во металната рамка настанува како резултат на промената на магнетниот флуks што поминува низ нејзината површина. За различни положби на рамката, магнетниот флуks ќе има различни вредности.

$$\Phi = BS \cos\alpha$$

$$\Phi = \Phi_m \cos\alpha$$

$\Phi$  [Wb] – магнетен флуks

$\Phi_m$  [Wb] – максимален флуks што поминува низ рамката

$\alpha$  - агол што го зафаќа рамката со хоризонталата

По однос на тоа индуцираната ЕМС се менува според равенката:

$$e = E_m \sin\alpha$$

$e$  [V] – индуцирана ЕМС

$E_m$  [V] – максимална индуцирана ЕМС во рамката

Од равенството се гледа дека индуцираната ЕМС е периодична функција и се менува по синусен закон.

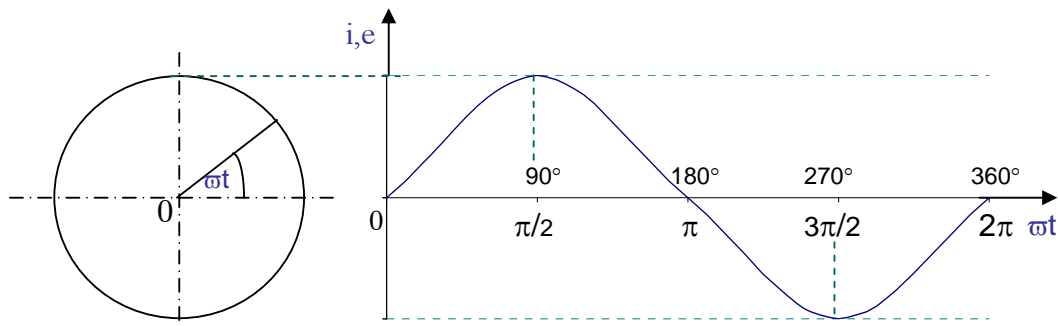
Во даден момент, ако времето потребно рамката да се сврти за агол  $\alpha$  го означиме со  $t$ , а времето потребно да рамката се заврти за  $360^\circ$  или  $2\pi$  радијани го означиме со  $T$ , тогаш  $\alpha t = 2\pi T$  и  $\alpha = 2\pi t/T$ . Ако сезначи  $2\pi/T = \omega$ , тогаш  $\alpha = \omega t$ . Во тој случај равенството  $e = E_m \sin \alpha$  го добива обликот:  $e = E_m \sin \omega t$ .

За  $t = 0$  и  $\alpha = 0^\circ$  (сл.9.1б) следи дека  $e = 0$ .

Со зголемување на вредноста на аголот  $\alpha$ , се зголемува и индуцираната ЕМС, па за  $\alpha = 90^\circ$  ја постигнува својата максимална вредност, односно  $e = E_m$ .

Со понатамошното вртење на рамката вредноста на ЕМС се намалува и за  $\alpha = 180^\circ$  ќе има вредност нула ( $e = 0$ ), а за вредности помеѓу  $180^\circ$  и  $270^\circ$  индуцираната ЕМС повторно расте, но со спротивна насока, така што за  $\alpha = 270^\circ$ , ќе има вредност  $e = -E_m$ . Понатаму вредноста на ЕМС повторно опаѓа сè додека не постигне вредност  $e=0$  за  $\alpha=0^\circ$ .

Покажано е дека и наизменичната струја и променливиот напон, математички се претставуваат како синусоидни функции бидејќи и тие се менуваат по интензитет и насока во текот на времето.



Сл.9.2. Периодична синусоидна промена

$$e = E_m \sin \omega t$$

$e$  [V] – моментална вредност на индуцирана ЕМС

$E_m$  [V] – максимална индуцирана ЕМС

$$i = I_m \sin \omega t$$

$i$  [A] – моментална вредност на наизменична струја

$I_m$  [A] – максимална вредност на јачината на наизменичната струја (амплитуда)

$$u = U_m \sin \omega t$$

$u$  [V] – моментална вредност на наизменичниот (променлив) напон

$U_m$  [V] – максимална вредност на наизменичниот напон

$$\omega = 2\pi f$$

$\omega$  [rad] – кружна ( аголна) фреквенција

$f$  [Hz] – фреквенција

Временски периодични големини се оние големини (струја, напон или ЕМС) кај кои промените после некое време  $T$  на потполно ист начин се повторуваат. Ако  $T$  е интервалот на време во кој вредностите на периодичната функција  $f(t)$  се повторуваат, тогаш периодичната функција  $f(t)$  мора во кој било момент на време  $t$  да го задоволува условот:

$$f(t+nT) = f(t), \text{ каде } n \text{ е цел број}$$

Интервалот  $T$  во кој вредностите на периодичната функција се повторуваат се нарекува периода.

Промените на функцијата во текот на една периода се нарекуваат циклус.

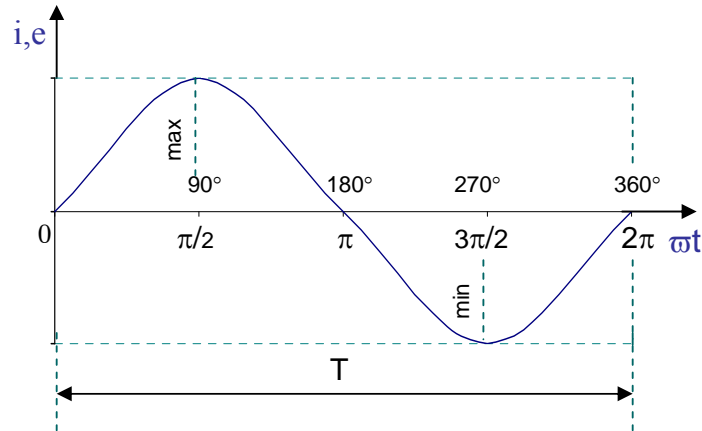
$$f[\text{Hz}] = \frac{1}{T} \left[ \frac{1}{\text{s}} = \text{s}^{-1} \right]$$

$f$  [Hz] – фреквенција

Фреквенцијата е еднаква на бројот на циклуси во единица време. Некоја периодична големина има фреквенција 1 Hz ако секоја секунда изврши по еден циклус.

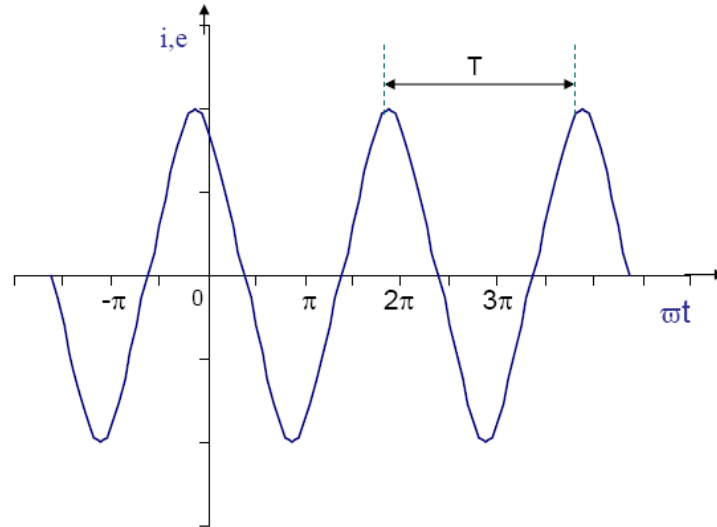
Периодичните големини кои се менуваат по синусен или косинусен закон се нарекуваат простопериодични.

Врската помеѓу периодата и аголната фреквенција е:  $T[\text{s}] = \frac{2\pi}{\omega}$



Сл.9.3. Периода на простопериодична големина

Доколку простопериодичните големини не се балансирано околу апсисата, што е чест случај при мерењата со осцилоскоп, параметрите на функцијата се одредуваат со мерење на периодата помеѓу два последователни максимуми (или минимуми), но исто така се мери и вредноста од минимумот до максимумот.



Сл.9.4. Графичко одредување на параметри на простопериодична големина

Ефективна вредност е вредноста на јачината на наизменичната струја која при дадена отпорност произведува исто количество топлина, како и еднонасочната струја со иста јачина.

Зависностите помеѓу ефективната вредност на наизменичната струја и нејзината максимална вредност, како и ефективната вредност на променливиот напон и неговата максимална вредност се дадени преку следниве равенства:

$$I[\text{A}] = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$U[\text{V}] = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

$I$  [A] – ефективна вредност на наизменичната струја

$U$  [V] – ефективна вредност на наизменичниот напон

#### Почетна фаза и фазна разлика

За да се разбере значењето на почетната фаза  $\varphi$ , треба да се има во предвид дека почетокот на временската координата  $t = 0$  е сосема произволен, и може да има која било вредност. Тоа значи дека почетната вредност на која било простопериодична големина може да биде позитивна, негативна или нула, што зависи исклучиво од положбата на навивката која ќе се усвои за почетна, а таа е произволна. За да биде почетната фаза еднозначно определена, се дефинира почетна точка на простопериодичната функција како нула на функцијата најблиска до координатниот почеток од каде функцијата расте во позитивна насока. Вредноста на почетната фаза зависи и од избраната рефе-

рентна насока. Промената на референтната насока го менува знакот пред изразот за таа големина, односно ја менува почетната фаза за  $+\pi$  или  $-\pi$ . Според тоа, вредноста на почетната фаза зависи од избраниот почетен момент ( $t = 0$ ) и од избраната референтна насока на дадената големина.

Електричните големини со фазна промена дадени се со изразите:

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_2)$$

$\omega t + \varphi_1 = \alpha_1$  – фаза на напон или фазен агол на напонот

$\omega t + \varphi_2 = \alpha_2$  – фаза на струја или фазен агол на струјата

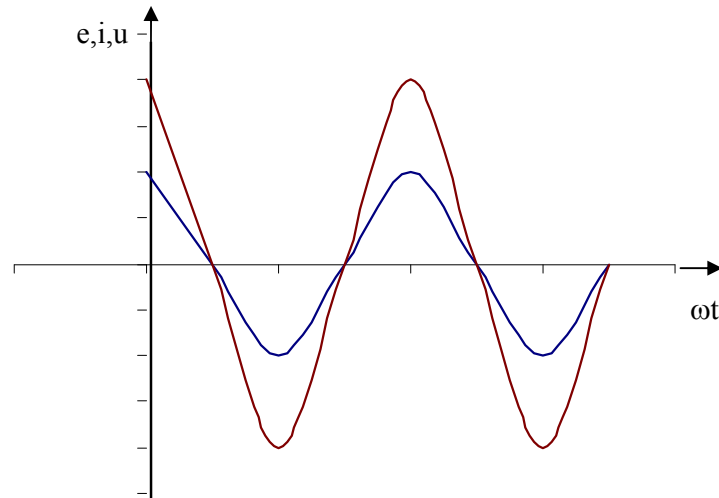
$\varphi_1$  и  $\varphi_2$  – почетни фази (за  $t=0$ )

За две престоериодични функции со исти аголни фреквенции:

$$e_1 = E_1 m \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$e_2 = E_2 m \sin(\omega t + \varphi_2)$$

- Кога  $\varphi_1 = \varphi_2$ , амплитудите на функциите може да се разликуваат, но нулите, максимумите и минимумите се појавуваат во исти моменти, што значи дека функциите се во фаза.



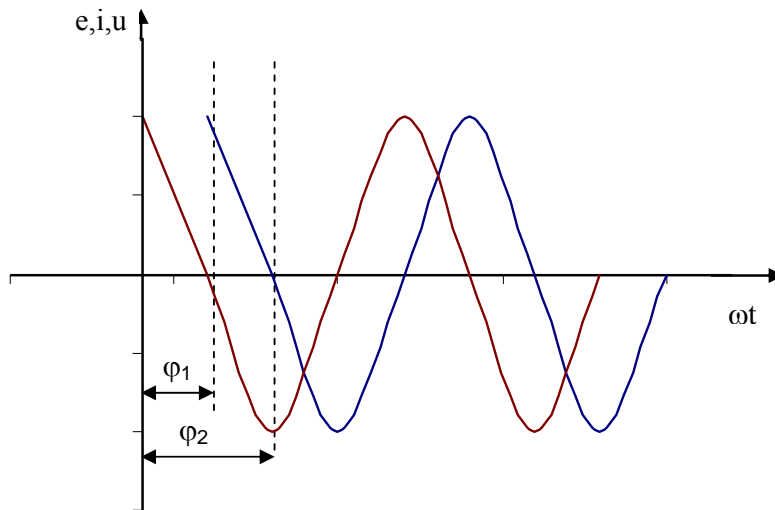
Сл.9.5. Функциите се во фаза

- Кога  $\varphi_1 \neq \varphi_2$  нулите, максимумите и минимумите не се појавуваат во исти моменти и во овој случај меѓу овие функции постои фазна разлика.

$$\varphi = (\omega t + \varphi_1) - (\omega t + \varphi_2) = \varphi_1 - \varphi_2$$

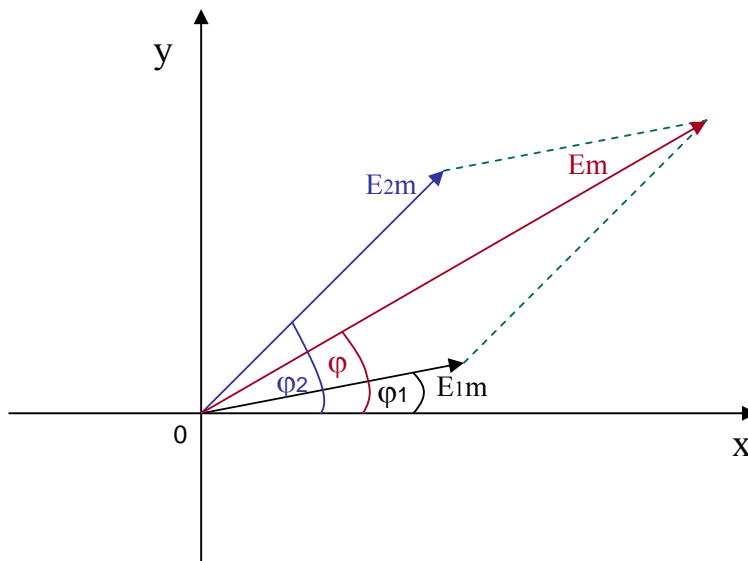
$\varphi$  [rad] – фазна разлика

Фазната разлика е еднаква на разликата на почетните фази и може да биде позитивна или негативна во зависност од тоа дали  $\varphi_1 > \varphi_2$  или не.



Сл.9.6. Функции со фазна разлика

Простопериодичната функција со произволни параметри може да се претстави како проекција на вртлив вектор (фазор), чија должина е еднаква на амплитудата на функцијата, и која околу координатниот почеток ротира со аголна брзина еднаква на аголната фреквенција на функцијата. Оскара во однос на која се сметаат почетните фази ( $x$ ) се нарекува фазна оска.



Сл.9.7. Векторско претставување на временски променливи големини (фазорски дијаграм)

Резултантната електромоторна сила добиена како сума на двете синусоидни електромоторни сили дадени со изразите:

$$e_1 = E_1 m \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$e_2 = E_2 m \sin(\omega t + \varphi_2)$$

изнесува:

$$E_m = \sqrt{E_{1m}^2 + 2E_{1m}E_{2m} \cos(\varphi_1 - \varphi_2) + E_{2m}^2}$$

$E_m$  [V] – резултантна електромоторна сила

Тангенсот на почетната фаза на резултантната електромоторна сила е:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{E_m \cdot \sin \varphi}{E_m \cdot \cos \varphi} = \frac{E_{1m} \sin \varphi_1 + E_{2m} \sin \varphi_2}{E_{1m} \cos \varphi_1 + E_{2m} \cos \varphi_2}$$

На потполно ист начин можат да се определат и резултантниот напон и резултантната струја, како сума од две или повеќе соодветни престоериодични големини.

### Пример 1

Да се нацрта фазорски дијаграм на напоните со изразите:

$$u_1 = 50 \sin \omega t$$

$$u_2 = 100 \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{6} \right)$$

Да се напише изразот за моменталната вредност на резултантниот напон и да се нацртаат синусоидните промени на поединечните напони и на резултантниот напон.

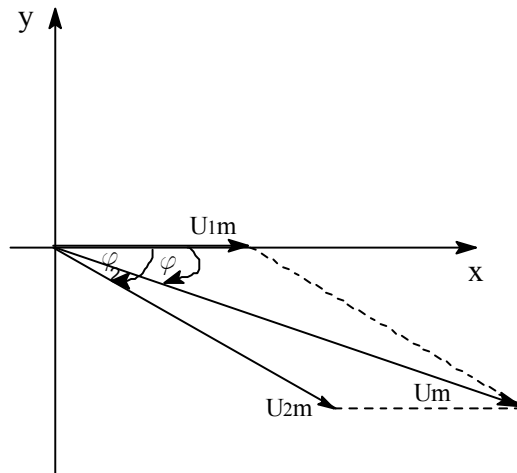
Решение:

$$u_1 = 50 \sin \omega t \quad \Rightarrow \quad U_{1m} = 50V;$$

$$\varphi_1 = 0^\circ$$

$$u_2 = 100 \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{6} \right) \Rightarrow U_{2m} = 100V;$$

$$\varphi_2 = -\frac{\pi}{6} = -\frac{180^\circ}{6} = -30^\circ$$



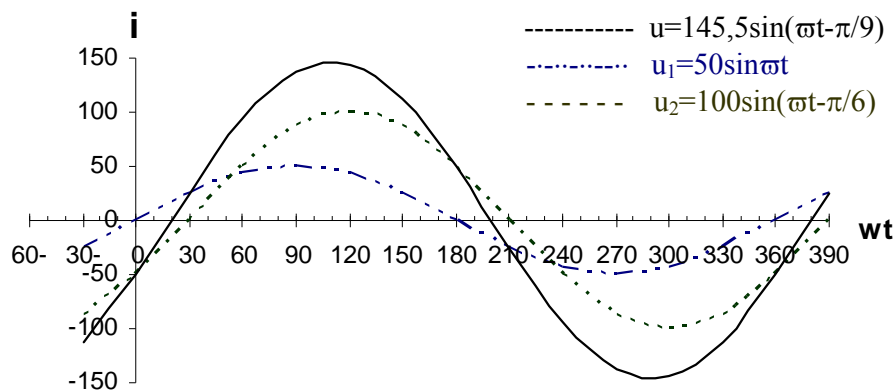
$$U_m = \sqrt{U_1 m^2 + 2U_1 m U_2 m \cos(\varphi_1 \varphi_2) + U_2 m^2}$$

$$U_m = \sqrt{50^2 + 2 \cdot 50 \cdot 100 \cos 30^\circ + 100^2} = 145,5V$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_1 m \sin \varphi_1 + U_2 m \sin \varphi_2}{U_1 m \cos \varphi_1 + U_2 m \cos \varphi_2} = \frac{50 \sin 0^\circ - 100 \sin 30^\circ}{50 \cos 0^\circ + 100 \cos 30^\circ} = -0,366$$

$$\varphi = \arctg(-0,366) = -20^\circ = -0,35 \text{ rad} = -\pi/9$$

$$u = 145,5 \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{9} \right)$$



## 9.1. ЕЛЕМЕНТИ НА ЕЛЕКТРИЧНО КОЛО НА НАИЗМЕНИЧНА СТРУЈА

За електрично коло на наизменична струја важи Омовиот закон во изменет облик во зависност од тоа каква отпорност е приклучена во колото (омска, индуктивна или капацитивна). За електрично коло во кое постојат сите три вида отпорности, Омовиот закон е:

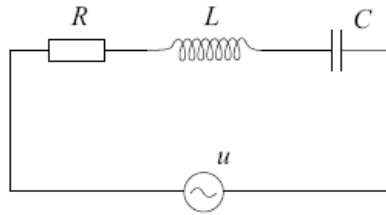
$$i = \frac{u}{Z} = \frac{u}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{u}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

$$X = X_L - X_C$$

$Z$  – привидна отпорност (импеданса)  
 $X$  – реактивна отпорност (реактанса)  
 $R$  – омска (термогена) отпорност  
 $X_L$  – индуктивна отпорност  
 $X_C$  – капацитивна отпорност



Привидната отпорност се нарекува уште и импеданса и ја дава вкупната отпорност во колото, а реактивната отпорност претставува разлика помеѓу индуктивната и капацитивната отпорност и се нарекува уште и реактанса.



Сл.9.8. RLC коло

Поради дејството на индуктивната и капацитивната отпорност се создава фазна разлика меѓу напонот и струјата. Ако преовладува индуктивната отпорност во однос на капацитивната ( $X_L > X_C$ ), струјата ќе задоцнува зад напонот, а во спротивен случај, таа ќе избрзува.

### 9.1.1. Електрично коло со омска отпорност (R)

Омска отпорност претставува отпорност на отпорник или потрошувач приклучен во електрично коло.

Во присуство на омска отпорност изразено е претворувањето на електричната енергија во топлинска енергија.

Во ваков случај, кога во електричното коло не постојат индуктивна и капацитивна отпорност, реактивната отпорност ќе биде еднаква на нула од каде следи дека привидната отпорност ќе биде еднаква на омската отпорност, односно:

$$X=0 \Rightarrow Z=R$$

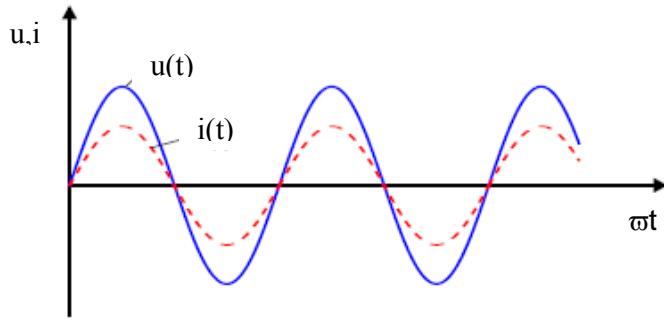
Во тој случај јачината на струјата може да се определи со дадениот израз:

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m \sin \omega t}{R} = I_m \sin \omega t$$

$$u = R i$$

Омската отпорност претставува коефициент на пропорционалност помеѓу напонот и струјата и ваквата линеарна зависност покажува дека напонот и струјата се во фаза, односно истовремено ги постигнуваат максималните и минималните вредности.

На сл.9.10. претставен е фазорски дијаграм на напонот и струјата во електрично коло со чисто омска отпорност.



Сл.9.9. Синусоидни промени на напонот и струјата во електрично коло со омска отпорност



Сл.9.10. Фазорски дијаграм на електрично коло со омска отпорност

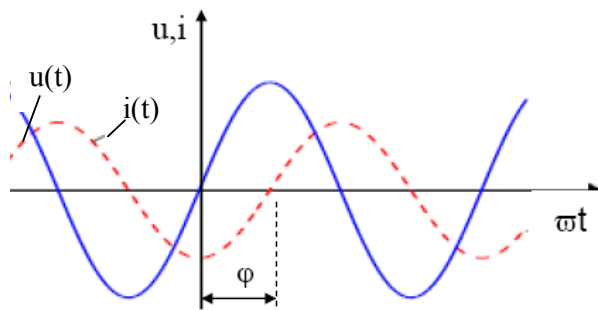
**9.1.2. Електрично коло со омска (R) и индуктивна отпорност (X<sub>L</sub>)**

Индуктивниот отпор претставува отпор на соленоидот приклучен во електричното коло на наизменична струја кој ја претвора електричната енергија во магнетна. Во електрично коло со омска и индуктивна отпорност, реактивната отпорност е еднаква на индуктивната отпорност.

Влијанието на индуктивноста во електричните кола со наизменична струја каде се вклучени омски отпорности е такво што струјата фазно ќе заостанува зад напонот (сл.9.11)

$$X = X_L = \omega L = 2\pi fL$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$



$$u = U_m \sin \omega t$$

$$i = I_m \sin (\omega t - \varphi)$$

L [H] - индуктивност на соленоид

Сл.9.11. Синусоидни промени на напонот и струјата во електрично коло со омска и индуктивна отпорност



Сл.9.12. Фазорски дијаграм на електрично коло со омска и индуктивна отпорност

### 9.1.3. Електрично коло со омска (R) и капацитивна отпорност (Xc)

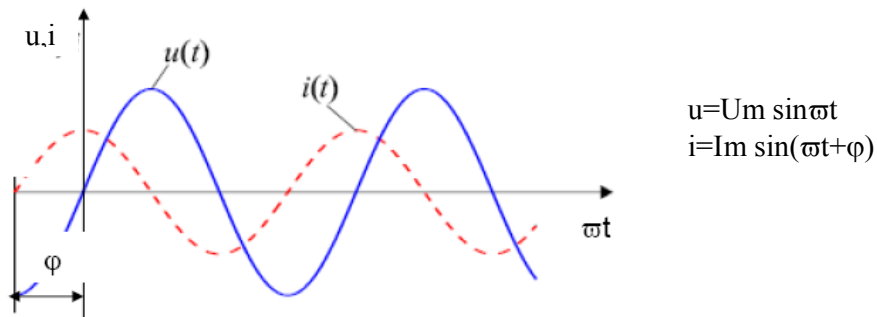
Капацитивната отпорност е отпорноста на кондензаторот приклучен во електрично коло на наизменична струја и ваквата отпорност ја претвора електричната енергија во електростатичка.

$$X = X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

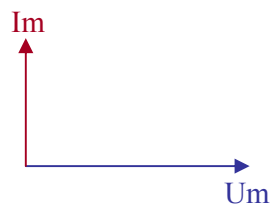
$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

C[F] – капацитивност на кондензатор

Влијанието на капацитивната отпорност е такво што помеѓу напонот и струјата ќе се појави фазна разлика, која е таква, што струјата ќе избрзува пред напонот.



Сл.9.13. Синусоидни промени на напонот и струјата во електрично коло со омска и капацитивна отпорност



Сл.9.14. Фазорски дијаграм на електрично коло со омска и капацитивна отпорност

При занемарлив омски отпор ( $R=0$ ), наизменичната струја има најголема вредност ако индуктивната отпорност е еднаква на капацитивната отпорност  $X_L=X_c$ , односно:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Како резултат на оваа појава јачината на струјата во колото треба да е бескрајно голема. Појавата е позната под името напонска резонанција, а во случај ако омската, индуктивната и капацитивната отпорност се врзани паралелно, и ако се постигне  $X_L = X_C$ , настапува појава на струјна резонанција.

### Пример 2

Во електрично коло на наизменична струја со омска отпорност 2 kΩ, индуктивност 1H и капацитивност 2 μF, поврзани во серија, при напон 220 V, фреквенција 50 Hz и фактор на моќност 0,8, да се определи: привидната, активната и реактивната моќност на колото.

Решение:

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

$$X_L = \omega L = 2\pi fL = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1 = 314 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = 1592,5 \Omega$$

$$Z = \sqrt{2000^2 + (314 - 1592,5)^2} = 4200 \Omega$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{4200} = 0,052 \text{ A}$$

$$P_p = U \cdot I = 220 \cdot 0,052 = 11,44 \text{ VA}$$

$$P_a = P_p \cdot \cos \varphi = 11,44 \cdot 0,8 = 9,15 \text{ W}$$

$$P_r = P_p \cdot \sin \varphi = P_p \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = 11,44 \sqrt{1 - 0,8^2} = 6,86 \text{ VAR}$$

#### 9.1.4. Моќност на наизменична струја

Во електрично коло на наизменична струја каде што струјата и напонот се во фаза ( $\varphi = 0$ ), т.е. каде што постои чисто омско оптоварување, моќноста се определува со изразот :

$$P = U I \text{ [W]}$$

P – моќност на наизменична струја

U, I – ефективни вредности на напонот и струјата

Во најопшт случај отпорноста во колото не е чисто омска, туку постои индуктивна и капацитативна отпорност и во тој случај еден дел од моќноста нема да биде искористена. Големината на неискористениот дел ќе зависи од фазната разлика меѓу струјата и напонот, односно од големината на реактивната отпорност. Искористената моќност на наизменичната струја се нарекува активна моќност ( $P_a$ ). Активната и реактивната моќност ја даваат вкупната моќност на наизменичната струја која се нарекува привидна моќност ( $P_p$ ).

Математички активната и реактивната моќност се дадени со равенствата:

$$P_a = UI \cos\varphi$$

$$P_r = UI \sin\varphi$$

Привидната, активната и реактивната моќност се поврзани со следнава релација:

$$P_p = \sqrt{P_a^2 + P_r^2}$$

$P_a$  [W] – активна моќност на наизменична струја

$P_r$  [VAr] – реактивна (неискористена) моќност

$P_p$  [VA] – привидна (вкупна) моќност

$\cos \varphi$  – фактор на моќност

Електричните потрошувачи само активната моќност ја претвораат во корисна работа. Коefициентот  $\cos \varphi$  претставува фактор на моќност и неговата вредност најчесто е помала од единица.

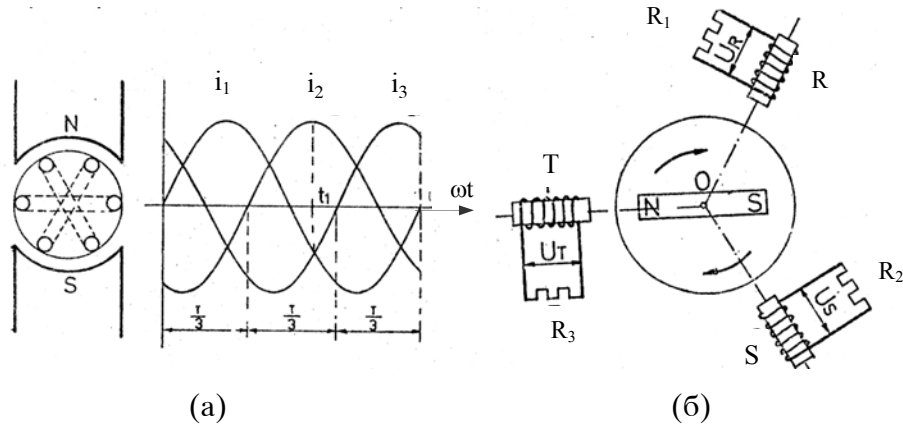
## 9.2. ТРИФАЗНИ НАИЗМЕНИЧНИ СТРУИ

За да се објасни начинот на добивање на трифазна наизменична струја се разгледува хомогено магнетно поле во кое се поставени три метални рамки, односно три намотки поместени една од друга за  $120^\circ$ . Таквите намотки се наречени фазни намотки или фази. Фазните намотки во магнетното поле се вртат со иста брзина и при тоа во нив се индуцираат електромоторни сили. Секоја од индуцираните електромоторни сили создава наизменична струја, односно се создаваат три наизменични струи, исто така фазно поместени за  $120^\circ$ . На овој начин се добива трифазна наизменична струја (сл.9.15)

На сл.9.15 (б) со R, S и T се означени фазните намотки, со  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  потрошувачите, а со  $U_r$ ,  $U_s$  и  $U_t$  се означени индуцираните напони.

Трите намотки можат да се поврзат во ѕвезда или во триаголник.

Машините со чија помош се добиваат трифазните струи се наречени трифазни генератори. Предноста на трифазната струја е во тоа што се пренесува само со три спроводници и како повратна линија на едната фаза се користи линијата на втората и на третата фаза, и обратно.

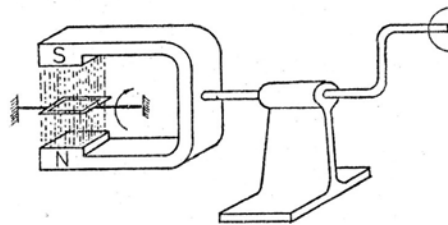


Сл.9.15. Создавање на трифазна наизменична струја: (а) магнетното поле мирува, намотките се вртат; (б) магнетното поле се врти, а намотките мируваат

### 9.2.1. Вртливо магнетно поле

Ако постојан потковичест магнет започне да се врти под дејство на механичка сила, тогаш заедно со магнетот ќе се преместува и магнетното поле, односно ќе се создава вртливо магнетно поле.

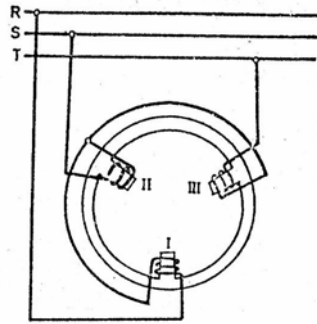
Ако во вртливото магнетно поле се внесе магнетна игла, таа во почетокот ќе настојува да се ориентира во правецот на магнетните силиви линии, а потоа ќе почне да се врти во насока на вртливото магнетно поле.



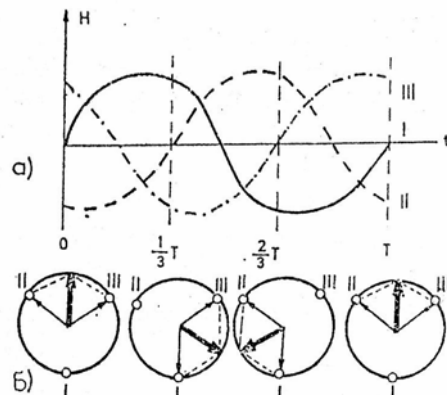
Сл.9.16. Вртливо магнетно поле добиено по механички пат

Ако пак во полето наместо магнетна игла се внесе спроводник во форма на затворена рамка (сл.9.16), под дејство на вртливото магнетно поле, ќе се менува и магнетниот флукс, поради што во рамката ќе се индуцира струја. Според правилото на Ленц, оваа струја е насочена така што нејзиното заемно дејство со вртливото магнетно поле се спротивставува на вртењето на магнетот, односно се противи на причината што ја создава. Како резултат на оваа појава, металната рамка се врти во насока на вртливото магнетно поле. Привидно се чини, дека вакво поле може да се создаде само по пат на вртење на магнетот, односно по механички пат. Меѓутоа постои и поинаков начин за добивање на вртливо магнетно поле за кој огромна заслуга има великанот на

полето на електротехниката Никола Тесла. Ваквото вртливо поле е основа на работата на асинхроните мотори и може да се создаде на следниов начин: на периферијата на железна рамка се намотани три железни јадра меѓусебно поместени за  $120^\circ$  и на нив се намотани во иста насока три намотки (I, II и III) поврзани во ѕвезда или во триаголник (сл.9.17) и приклучени на трифазна мрежа R, S, и T. Под дејство на напоните на оваа трифазна мрежа, во намотките ќе протечат струи, кои се меѓусебно временски фазно поместени за  $120^\circ$ . Со менување на јачината на струјата во фазите R, S и T ќе се менува и јачината на магнетното поле во намотките I, II и III. Промената на магнетното поле во трите намотки за време од една периода се дадени на сл. 9.18.а). Додека на сл.9.18.б) е претставен векторскиот збир од магнетното поле во поединечните намотки за време:  $t=0$ ;  $t=1/3 T$ ;  $t=2/3 T$ ; и  $t=T$ .



Сл.9.17. Железна рамка за добивање на вртливо магнетно поле



Сл.9.18. Графички приказ на трифазно вртливо магнетно поле: а) јачина на магнетните полиња во намотките; б) вектор на резултантното магнетно поле во намотките

За време  $t=0$ , јачината на магнетното поле во намотката I (сл.9.18.а) има нула вредност, а јачината на магнетните полиња во намотките II и III се еднакви по големина. Нивниот векторски збир даден е на сл.9.18.б).

По времето  $t=1/3 T$ , магнетното поле во намотката II е еднакво на нула, па векторот на резултантното магнетно поле претставува векторски збир од полињата на намотките I и III. Резултантниот вектор е еднаков по интензитет како и за времето  $t=0$ , додека неговиот правец е поместен за  $120^\circ$ .

За времето  $t=2/3 T$ , векторот на резултантното магнетно поле дополнително ќе се помести за агол од  $120^\circ$ .

За време  $t=T$ , односно за време од една периода, резултантниот вектор ќе се врати во почетната положба (сл.9.18.б).

Резултантното магнетно поле во кое било време има иста јачина и ниту во еден момент не е еднакво на нула, што значи дека јачината на магнетното поле не се менува, туку се менува само правецот, односно тоа се врти. Затоа, ваквото поле се нарекува ротационо или вртливо магнетно поле.

## 10. ЕЛЕКТРИЧНИ МЕРЕЊА

Контролата на работата на електричните уреди, нивното испитување, определувањето на карактеристиките на електричните машини, пресметувањето на потрошената електрична енергија, контролата и заштитата во електричните мрежи и постројки се изведуваат со електрични мерења.

За мерење на електричните големини (напон, струја, електрична моќност, електрична отпорност, капацитативност, индуктивност, фреквенција и др.) се употребуваат електрични мерни инструменти.

Со електричните мерни инструменти може да се мерат и разни неелектрични големини како што се: проток на течности и гасови, температура, притисок, издолжување на материјалите и др. При овие мерења, мерената големина се претвора во електрична и на инструментот директно се отчитува.

Електричните мерни инструменти се разликуваат по однос на принципот на работа, електричните големини што ги мерат, видот на струјата со која се напојуваат, обликот и начинот на вградувањето, точноста на мерниот инструмент и др.

Мерењата се изведуваат преку мерење на електрични големини со употреба на мерни инструменти при што мерената големина се претвора во електрична. Според принципот на работа, се разликуваат: инструменти со вртлива намотка, вртливо железо или магнет, електродинамички мерни инструменти со подвижна и неподвижна намотка, индукциони инструменти кај кои е искористена појавата на заемно дејство на вртливо поле и индуцирани струи, термички инструменти кај кои се искористува топлотното дејство на електричната струја, електростатички мерни инструменти кои ја користат појавата на електростатичка сила меѓу наелектризираните тела.

Мерните инструменти можат да бидат аналогни или дигитални.

Аналогните мерни инструменти имаат за цел да формираат непрекинат информационален сигнал за визуелен приказ на мерената големина. Вообичаено под поимот аналоген мерен инструмент се подразбира инструмент кој има индикатор со стрелка. Стрелката е прицврстена на вртливиот дел од механизмот на инструментот и отчитувањето на резултатот е од положбата на стрелката врз градуирана скала.

Дигиталните мерни инструменти се категорија мерни уреди кај кои резултатот од мерењето се добива директно, во бројни вредности и тоа во декаден броен систем. Тоа значи дека субјективната грешка при читањето на резултатот е елиминирана. Со современите дигитални мерни инструменти поедноставно може да се автоматизираат мерните процеси бидејќи таквите инструменти имаат можност за автоматска обработка на резултатите од мерењата и се одликуваат со висока точност и брзина на одзив.

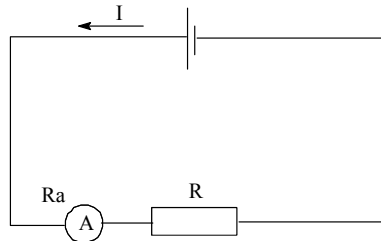
По однос на мерените електрични големини, инструментите служат за мерење јачина на електричната струја и на напонот, на активната моќност, на електрична отпорност, на електрична енергија, фреквенција и др.

**Амперметар** е инструмент за мерење јачина на електричната струја. За еднонасочни струи со многу мал интензитет се употребува посебен вид амперметар наречен галванометар. Во електричните кола амперметрите се однесу-



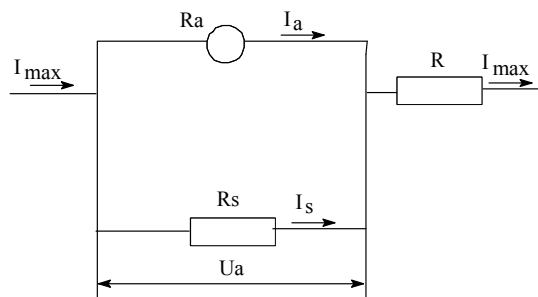
ваат како отпорници и мерењата се попрецизни доколку имаат помал внатрешен отпор, а се поврзуваат редно со елементот низ кој проаѓа струјата чија вредност треба да се определи (сл.10.1). Карактеристични големини за еден амперметар се:

- видот на струјата која се употребува, еднонасочна или наизменична;
- внатрешната отпорност и потрошувачката на инструментот;
- јачината на струјата при која стрелката прави полн отклон на мерната скала, доколку се работи со аналоген амперметар;
- константата на мерниот инструмент.



Сл.10.1. Поврзување на амперметар

Проширување на мерното подрачје на амперметарот може да се постигне со паралелно поврзување на отпорник т.н. шант со амперметарот (сл.10.2), при што е можно да се мерат вредности на струи со многу поголеми интензитети, а при тоа да не дојде до оштетување на инструментот.



Сл.10.2. Проширување на мерното подрачје на амперметарот

Ако максималната јачина на струјата што може да ја измери постојниот амперметар е  $I_a$ , тогаш за мерење на  $n$  пати појака струја, односно  $I_{\max} = n \cdot I_a$ , ќе се одбере шант кој ќе ги задоволува овие услови:

$$I_s = I_{\max} - I_a$$

Според Омовиот закон:  $U_a = R_a \cdot I_a = R_s \cdot I_s$ , па бараната вредност на отпорот на паралелно приклучениот отпорник (шантот) за таа намена ќе биде:

$$R_s = \frac{R_a I_a}{I_s}$$

$$I_s = I_{\max} - I_a = n I_a - I_a = I_a (n - 1) \Rightarrow R_s = \frac{R_a I_a}{I_a (n - 1)} = \frac{R_a}{n - 1}$$

$R_s$  [ $\Omega$ ] – отпор на шантот

$R_a$  [ $\Omega$ ] – внатрешен отпор на амперметарот

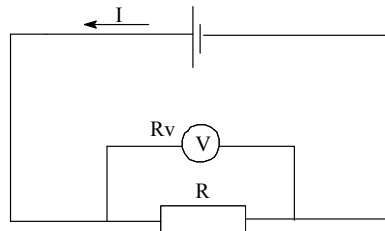
$I_s$  [A] – јачина на струјата која проаѓа низ шантот

$I_a$  [A] – максимална јачина на струјата која може да ја измери амперметарот

При зголемување на мерното подрачје, отпорноста на шантот е сè помала.

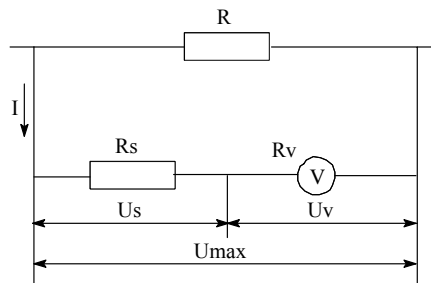
За наизменична струја амперметарот може да биде директно вклучен во електричното коло или преку струјни трансформатори. При директното мерење амперметарот се вклучува редно во електричното коло и низ него поминува вкупната струја на приемникот. Во случај на наизменични струи со поголеми јачини се применува индиректно мерење при што амперметарот се вклучува преку струјни мерни трансформатори. Со струјните мерни трансформатори се проширува мерното подрачје на амперметарот, при што примарната намотка од струјниот трансформатор се врзува редно во електричното коло, а секундарната намотка се врзува редно со амперметарот.

**Волтметар** е инструмент кој служи за мерење на напон. Во електричните кола волтметрите се однесуваат како отпорници со големи отпори и мерењата се попрецизни доколку волтметрите имаат поголем внатрешен отпор, а се поврзуваат паралелно со елементот чиј напон треба да се измери (сл.10.3).



Сл.10.3. Поврзување на волтметар

Проширување на мерното подрачје на волтметарот може да се постигне со редно поврзување на отпорник со волтметарот (сл.10.4), при што е можно да се мерат многу поголеми напони, а при тоа да не дојде до оштетување на инструментот.



Сл.10.4. Проширување на мерното подрачје на волтметарот

Ако максималниот напон што може да го измери постојниот волтметар е  $U_v$ , тогаш за мерење на  $n$  пати поголем напон при полн отклон на стрелката, односно  $U_{\max} = n \cdot U_v$ , ќе се одбере шант кој ќе ги задоволува овие услови:

$$U_s = U_{\max} - U_v$$

па според Омовиот закон,

$$I = \frac{U_v}{R_v} = \frac{U_s}{R_s} \Rightarrow R_s = \frac{U_s \cdot R_v}{U_v} = \frac{(nU_v - U_v)R_v}{U_v}$$

$$R_s = \frac{U_v(n-1)R_v}{U_v} = (n-1)R_v$$

$R_s$  [ $\Omega$ ] – отпор на шантот

$R_v$  [ $\Omega$ ] – внатрешен отпор на волтметарот

$I$  [A] – јачина на струјата

$U_s$  [V] – напон на краевите од шантот

$U_v$  [V] – максимален напон кој може да го измери самиот волтметар

За мерење на ефективната вредност на напонот во електричното коло за наизменична струја волтметарот може да се приклучи директно и индиректно. За мерење на поголеми напони, волтметарот се приклучува на секундарната страна од напонскиот трансформатор. Во зависност од големината на примарниот напон, се избира преносниот однос на напонскиот трансформатор.

Ако амперметар и волтметар се приклучат во електрично коло може индиректно да се определи отпорот на некој елемент од колото според Омовиот закон, или пак да се определи моќноста на некој елемент во коло за еднонасочна струја. За директно мерење на отпорот се користи инструментот **омметар**, а за мерење на активната моќност – **ватметар**.

Ватметрите се инструменти кои го користат електродинамичкиот принцип на работа и во практиката се користат за мерење на моќност. Ваквите инструменти можат да мерат моќност како во колата со еднонасочна, така и во колата со наизменична струја.

За мерење на електричните големини најчесто се користат универзални инструменти т.н. мултимери или унимери кои можат да мерат еднонасочни и наизменични напони и струи, отпори, а некои од нив можат да мерат капацитивност, температура и др.

Ваквите инструменти вообичаено се наменети за теренски мерења, сервисирање на разни електротехнички уреди или пак се користат во случаи кога не се неопходни мерења со многу голема прецизност.

Мултимерите може да бидат дигитални (сл.10.5) и аналогни (сл.10.6).



Сл.10.5 Дигитален мултимер



Сл.10.6. Аналоген мултимер

**Осцилоскопот** е мерен инструмент кој дава графички приказ на измерениот сигнал, најчесто во зависност од времето. Основен дел на осцилоскопот е катодната цевка, а служи за мерење на еднонасочни и наизменични напони и струи, фреквенции, фази, периода и др.

Осцилоскопот е мерен инструмент со кој може визуелно да се набљудуваат и да се снимаат синусоидните промени на временски променливите електрични големини како што се наизменичните напони и струите со различни фреквенции.

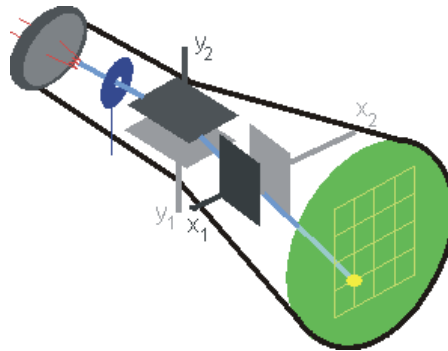


Сл.10.7. Осцилоскоп

Графичкиот приказ на влезната големина е во облик на светлечка крива наречена осцилограм. Осцилограмот се исцртува со млаз од електрони на екранот од осцилоскопот. Електронскиот млаз се генерира, се фокусира и се забрзува кон флуоресцентниот екран во катодна електронска цевка (сл.10.8) во чија внатрешност се поставени електроди во вакуум. Електродите имаат за цел да формираат електронски млаз кој треба да го опишува осцилограмот.

Екранот од катодната цевка може да биде со рамна или со сферична површина, прекриена од внатрешната страна со луминисцентен материјал. Во моментот на судир на електронскиот сноп на екранот, кинетичката енергија на елек-

троните се претвора во светлосна енергија при што на екранот од катодната цевка се појавува светла точка.



Сл.10.8. Катодна електронска цевка

Електронскиот млаз се создава од катодата, која е со цилиндрична метална површина, а во нејзината внатрешност е поставено грејно влакно. При проток на струја низ грејното влакно, тоа се загрева при што ја загрева и катодата на температура при која доаѓа до емисија на електрони. Електроните емитувани од катодата треба да се контролираат, да се забрзаат и да се насочат кон екранот. За контрола на емитирањето на електроните се користи електрода позната како Венелтов цилиндар. Венелтовиот цилиндар е на негативен потенцијал во однос на катодата. Овој потенцијал може да се регулира со потенциометар кој се наоѓа на предната страна од осцилокопот. Со менување на потенцијалот на Венелтовиот цилиндар се регулира интензитетот на млазот од електрони, а со тоа и интензитетот на светлосниот зрак. Млазот на електрони ќе биде поинтензивен доколку Венелтовиот цилиндар е на понизок негативен потенцијал. Во внатрешноста на катодната цевка се поставени и две аноди од кои едната служи за фокусирање, а другата за забрзување на млазот електрони. Потенцијалот на анодите е позитивен и зависи од потенцијалот на катодата и големината на катодната цевка. Анодата за фокусирање заедно со анодата за забрзување на млазот формираат електронска леќа со која на рамнината на екранот се фокусира електронскиот млаз. Познато е дека при премин на зракот од средина во која постои една брзина на електроните во средина со друга брзина тој се прекршува.

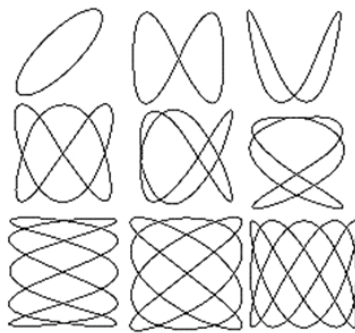
Забрзувањето на електроните зависи од потенцијалот на електродите. За да се добие фокусиран сноп, потребно е електродите да имаат точно определен облик и да постои соодветна потенцијална разлика меѓу нив. Анодата за забрзување на млазот од електрони е на повисок потенцијал во однос на анодата која служи за фокусирање на електронскиот млаз. Насоката на електричното поле е од анодата со повисок кон анодата со понизок потенцијал. Силата којашто дејствува на млазот електрони е во правец на тангентата на линијата на полето, а насоката на дејството е спротивна од насоката на електричните силиви линии. Во катодната цевка постои уште една анода која служи за дополнително забрзување на електроните и се наоѓа на потенцијал повисок од потенцијалот на анодата која ја има истата функција.

Отклонот на снопот електрони се постигнува со два пара паралелни плочи  $Y_1$ - $Y_2$  и  $X_1$ - $X_2$ . За да се добие осцилограм на испитуваниот напон, тој напон треба

да се доведе на плочите  $Y_1$ - $Y_2$  кои се хоризонтално поставени и служат за вертикално отклонување на млазот. Истовремено, на вертикално поставените плочи  $X_1$ - $X_2$ , кои служат за хоризонтален отклон на млазот, треба да се доведе напон кој се зголемува праволиниски во функција со времето.

Со помош на осцилоскоп може да се набљудуваат и некои напонски сигнали кои имаат краткотрајни непериодични бранови функции, односно разни претходни појави.

Во практиката осцилоскопот може да работи и во  $X$ - $Y$  режим. Во овој режим се исклучува временската база и осцилограмот што ќе се добие на екранот не е во функција од времето, туку го дава односот меѓу напоните доведени на  $X$  и  $Y$  влезовите. Вака добиените осцилограми можат да имаат најразлични форми и се нарекуваат Лисажуови фигури.



Сл.10.9. Лисажуови фигури

Инструментите со кои се регистрира потрошената електрична енергија се **електричните броила**. Според видот на струјата, можат да бидат за еднонасочна струја или индукциони броила, за наизменична струја.

Броилата за еднонасочна струја ретко се употребуваат бидејќи еднонасочната струја најчесто се добива со насочување на наизменичната струја, така што многу е поедноставно да се мери електричната енергија пред насочувањето.

Според видот на електричната енергија која ја мерат, тие можат да бидат за активна, реактивна и привидна електрична енергија.

Електричните броила можат да се разликуваат според бројот на мерните системи и според бројот на тарифите. Според бројот на мерните системи, се разликуваат електрично броило со еден мерен систем (еднофазно), со два или со три мерни системи (трифазни броила).

Според бројот на тарифите, можат да бидат еднотарифни и двотарифни.

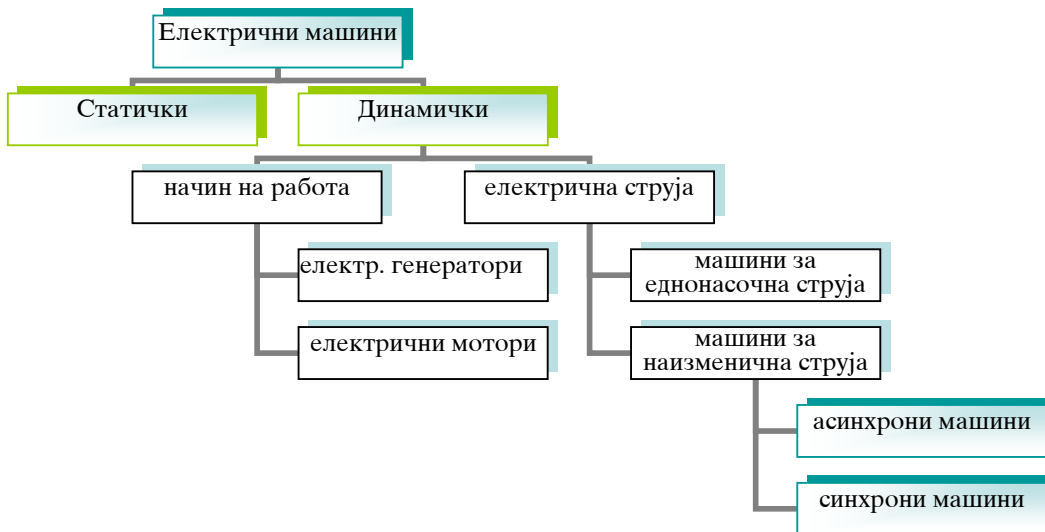
Двотарифните броила се снабдени со два бројачи, секој од нив се приклучува во зависност од тоа кога електричната енергија се пресметува по пониска или по повисока цена.

Приклучувањето на едниот или другиот бројач се врши со посебен часовник на кој се подесува времето за првата или за втората тарифа.

Постојат и броила кај кои, покрај регистрирањето на потрошената електрична енергија, се покажува и колкаво било најголемото оптоварување во одреден временски период.

## 11. ЕЛЕКТРИЧНИ МАШИНИ

Електричните машини се направи кои ја преобразуваат енергијата од еден облик во друг при што главно се користи принципот на електромагнетна индукција.



Сл.11.1. Поделба на електричните машини

Електричните машини се делат на *статички* и *динамички*.

Статички електрични машини се *трансформаторите*, а динамички се *вртливите електрични машини*.

Кај трансформаторите електричната енергија се трансформира од една големина на напон и струја во друга големина на напон и струја при иста фреквенција.

Вртливите машини, според начинот на работа, можат да се поделат на две основни групи: *електрични генератори* и *електрични мотори*.

Кај електричните генератори, механичката енергија се претвора во електрична. Механичката енергија обично ја добиваат од погонска машина која претставува водна или парна турбина, дизел или друг погонски мотор.

Електричните мотори примената електрична енергија ја претвораат во механичка енергија. Тие остваруваат погон на одредени машини и затоа се нарекуваат уште и погонски машини.

Во зависност од видот на електричната струја, вртливите електрични машини можат да се поделат на *машини за наизменична струја* и *машини за еднонасочна струја*. Машините за наизменична струја можат да се поделат уште на *асинхрони* и *синхрони машини*.

## 11.1. ТРАНСФОРМАТОРИ

Трансформаторот е статичка електрична машина со помош на која електричната енергија на наизменичните струи и напони може економично да се трансформира во електрична енергија на напони и струи со друга големина при иста фреквенција и да се пренесува понатаму во електричната мрежа.

Постојат различни видови трансформатори во зависност од намената, конструкцијата, бројот на фазите и др.

Според намената, трансформаторите можат да бидат:

- енергетски трансформатори
- трансформатори за посебна намена
- мерни трансформатори

Најраспространети се т.н. енергетски трансформатори кои служат за пренос и распределба на електричната енергија од електричните централи до потрошувачите, со цел да се намалат загубите на електричната енергија при преносот. Енергетските трансформатори во електричните централи ја трансформираат електричната енергија од пониски на повисоки напони при што се намалува вредноста на јачината на струјата при преносот од електричните централи до потрошувачите, со што се намалува претвorbата на електрична енергија во топлинска, а со тоа се обезбедува економичен пренос на електричната енергија. За приклучување на приемници на низок напон потребно е да се намали вредноста на напонот. Тоа се постигнува во разводни постројки и трансформаторски станици кои се поставуваат во непосредна близина на потрошувачите.

Во групата на трансформатори за посебна намена се трансформаторите со различен број на намотки, трансформаторите за преобразување на бројот на фазите, трансформаторите за електрично заварување и др.

Во електротехниката трансформаторите се употребуваат за напојување на насочувачките полупроводнички елементи. Во автоматиката имаат широка примена како т.н. даватели кои ги трансформираат механичките сигнали во електрични, а и за други потреби во вид на основа за релејна опрема.

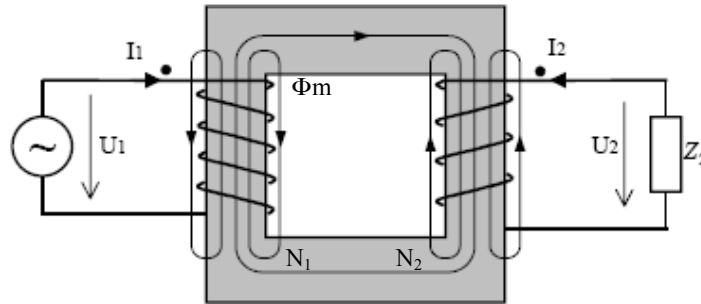
Во електричното мерење се применуваат напонски и струјни мерни трансформатори, кои мерниот напон и струја ја трансформираат на вредности погодни за техниката на мерење.

Според бројот на фазите, трансформаторите можат да бидат изведени како еднофазни и трифазни.

### *Основни составни делови и принцип на работа на трансформаторите*

Електричниот трансформатор се состои од јадро од феромагнетен материјал, на кое се поставени две намотки со  $N_1$ , односно  $N_2$  број на навивки. Примарната намотка се нарекува уште и примар, а секундарната намотка секундар. Големините на примарната намотка: примарниот напон, струјата која протекува низ примарната намотка и бројот на навивките во примарната намотка се означуваат со индекс 1, а на секундарната намотка со индекс 2.





Сл.11.2. Електричен трансформатор

Принципот на работа на трансформаторот произлегува непосредно од законот за електромагнетна индукција.

Намотката што се приклучува на изворот е примарна намотка или примар, а втората намотка е секундарна намотка или секундар. Ако примарната намотка се приклучи на некој извор со наизменична струја, тогаш низ неа ќе потече временски променлива струја. Таа струја понатаму предизвикува променлив магнетен флуks низ јадрото на трансформаторот. Поради електромагнетната индукција, во секундарната намотка ќе се создаде индуцирана ЕМС. При една ваква трансформација, секогаш се јавуваат загуби. Ако загубите се занемарливо мали, тогаш таков еден трансформатор се нарекува совршен (идеален).

Магнетниот флуks е определен со заедничко влијание на примарната и секундарната струја. Со посредство на променливиот заеднички флуks, електричната енергија се трансформира од примарната во секундарната намотка, но под друга големина на напонот и струјата. Бидејќи и двете намотки се опфатени со заедничкиот магнетен флуks, индуцираната ЕМС во една навивка ќе биде иста и за двете намотки.

$$E_{\text{нав}} = \frac{E_1}{N_1} = \frac{E_2}{N_2} \left[ \frac{\text{V}}{\text{нав}} \right]$$

$E_1$  [V] – индуцирана електромоторна сила кај примарната намотка

$E_2$  [V] – индуцирана електромоторна сила кај секундарната намотка (индуциран напон)

$$E_1 = 4.44 \cdot f \cdot \Phi_m \cdot N_1 = U_1$$

$$E_2 = 4.44 \cdot f \cdot \Phi_m \cdot N_2 = U_2$$

$f$  [Hz] – фреквенција

$\Phi_m$  [Wb] – магнетен флуks

$$\Phi_m = B_m \cdot A_{Fe}$$

$B_m$  [T] – максимална магнетна индукција

$A_{Fe}$  [m<sup>2</sup>] – активен напречен пресек на феромагнетното јадро на трансформаторот

Преносниот однос се нарекува коефициент на трансформација и се определува по следново равенство:

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

$k$  – коефициент на трансформација

(преносен однос на електричниот трансформатор)

$U_1$  [V] – примарен напон

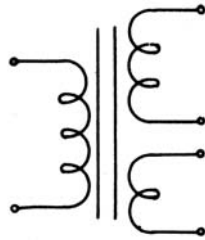
$U_2$  [V] – секундарен напон

$N_1$  – број на навивки на примарната намотка на трансформаторот

$N_2$  – број на навивки на секундарната намотка на трансформаторот

$I_1$  [A] – примарна струја (струја која протекува низ примарната намотка на трансформаторот)

$I_2$  [A] – секундарна струја



Сл.11.3. Шема на електричен трансформатор

Секундарот може да има две или повеќе намотки со што се добива излез со повеќе вредности на ЕМС.

Кај секој трансформатор, со посебна табличка се означени основните номинални големини, односно условите при кои може трајно да работи. Тие се:

- Номиналната моќност се изразува во VA, kVA или MVA. Тоа е моќноста при која трансформаторот е димензиониран, така што, при трајно оптоварување, температурата на загревање не ја надминува дозволена-та температура.
- Номиналниот примарен напон се изразува во V или kV и го претставува оној напон на кој треба да се приклучат примарните краеве на намотката.
- Номинален секундарен напон е напонот на краевите на секундарната намотка кога е таа оптоварена, а примарната намотка е приклучена на номиналниот примарен напон.

Другите номинални величини се номиналната фреквенција во Hz, спрегата на врзување на примарните и секундарните намотки, односите на трансформирање, напонот на кусата врска, степенот на искористување на трансформаторот и фабричкиот број.

**Пример 1**

Да се определи индуцираниот напон по навивка кај еднофазен трансформатор кај кој преносниот однос има вредност 25, бројот на навивките во примарната намотка е 2000, а секундарниот напон 48 V.

*Решение:*

$$E_{\text{нав}} = \frac{E_1}{N_1} = \frac{E_2}{N_2} \Rightarrow \frac{U_1}{N_1} = \frac{U_2}{N_2} = \frac{1200}{2000} = \frac{48}{80} = 0,6 \text{ V/нав}$$

$$U_1 = k \cdot U_2 = 25 \cdot 48 = 1200\text{V} \quad N_2 = \frac{N_1}{k} = \frac{2000}{25} = 80 \text{ навивки}$$

**11.1.1. Трифазни трансформатори**

За трансформација на електричната енергија на трифазни наизменични струи се користат трифазни трансформатори. Тие можат да бидат составени од три еднофазни трансформатори или трифазен трансформатор со заеднички магнетен флукс.

Изведбата со три еднофазни трансформатори е поедноставна за одржување бидејќи дефектите најчесто се случуваат само на една фаза, меѓутоа овој вид трансформатори зафаќаат поголем простор и имаат помал степен на искористување.

Краевите од фазните намотки се означуваат со латинските букви U, V и W.

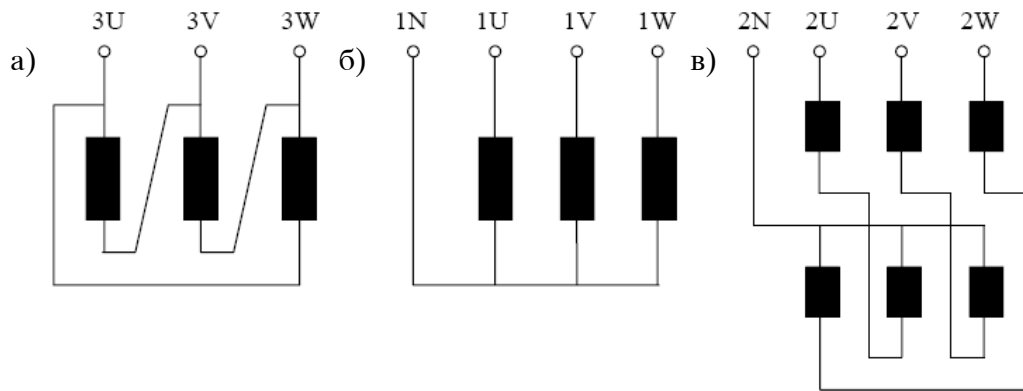
Висината на напонот на одделните фази се означува со бројни вредности пред ознаките за краевите на намотките и тоа:

- со бројот 1 се означува високонапонска намотка (VN),
- со бројот 2 се означува нисконапонска намотка (VN) кај трансформаторите со две намотки или среднонапонска намотка (SN) кај трансформаторите со три намотки;
- со бројот 3 се означува нисконапонска намотка (NN) за трансформаторите со три намотки.

Краевите од намотките се означуваат со бројни вредности и тоа: влезните краеве се означуваат со бројот 1, а излезните краеве со бројот 2. Овие бројни вредности се означуваат по ознаките за краевите на намотките.

Така, на пример, ознаката 1U2 се однесува на излезниот крај на високонапонска намотка (VN) од првата фаза.

Намотките на примарот и на секундарот на трифазните трансформатори меѓусебно се поврзуваат со што се добива спрега на намотките.



Сл.11.4. Спреги на намотките на трифазни трансформатори: а) NN намотка поврзана во триаголник; б) VN намотка поврзана во ѕвезда и в) NN намотка поврзана во скршена ѕвезда

Намотките може да бидат спрегнати на три начини:

- спрега триаголник: ознака  $D$  за VN, односно  $d$  за NN;
- спрега ѕвезда: ознака  $Y$  за VN, односно  $y$  за NN;
- спрега скршена ѕвезда: ознака  $Z$  за VN, односно  $z$  за NN.

При спрегата ѕвезда и скршена ѕвезда, неутралната точка на спрегата се означува со  $N$ .

Спрегата триаголник се образува кога влезниот крај на едната фазна намотка ќе се поврзе со излезниот крај од другата фазна намотка, влезниот крај од втората намотка со излезниот крај од третата намотка и на крајот влезниот крај од третата намотка со излезниот крај на првата намотка.

Спрегата триаголник се добива и при спротивно поврзување, на пример, ако излезот од првата намотка се поврзе со влезот од втората намотка итн.

Спрегата ѕвезда на намотките се образува кога влезните или излезните краеве кратко ќе се спојат.

Спрегата скршена ѕвезда се изведува така што секоја фазна намотка се дели на две полунамотки кои се поврзуваат така што полунамотката од првото јадро се поврзува со полунамотката од второто јадро итн.

## 1.2. ВРТЛИВИ ЕЛЕКТРИЧНИ МАШИНИ

### 11.2.1. Синхрони машини

Синхроните машини претставуваат машини за наизменична струја кај кои брзината на вртењето ( $n'$ ) е директно зависна од фреквенцијата на индуцираниот напон ( $f$ ), односно брзината на вртењето е еднаква со брзината на вртливото магнетно поле.

$$n' = \frac{60f}{p} [\text{врт} / \text{min}]$$

$n'$  [врт/min] – брзина на вртење

$f$  [Hz] – фреквенција

$p$  – број на парови полови на намотките на статорот

Еднаквоста на брзините се нарекува синхронизам (едновременост).

Синхроната машина е реверзибилна и може да работи во секое време и како мотор и како генератор.

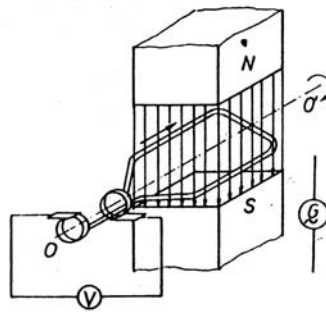
Кога синхроната машина ја претвора механичката енергија во електрична работи во режим на синхрон генератор. Ако синхроната машина ја претвора електричната енергија во механичка работи во режим на синхрон мотор.

Синхроните мотори се употребуваат за придвижување на механизми со големи моќности, кај кои е потребно да се постигне постојана брзина на вртење.

Магнетот кај електричниот генератор може да биде постојан или електромагнет.

#### Изглед и принцип на работа на генератор за наизменична струја

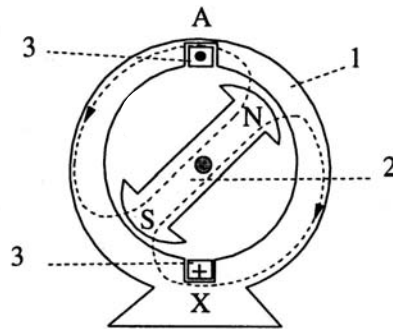
Помеѓу половите на еден магнет е поставена намотка во вид на правоаголна рамка која е прицврстена на оската што може да се движи, а краевите на намотката се прицврстени за два метални прстени, на кои се поставуваат две еластични метални ленти со кои се остварува лизгачки контакт со намотката.



Сл.11.5. Генератор за наизменична струја

Ако намотката на електричниот генератор почнеме да ја вртиме заедно со неа ќе се менува и магнетното поле, односно се создава вртливо магнетно поле. Вртејќи ја оската на намотката со одредена брзина, како резултат на појавата на вртливото магнетно поле, магнетниот флукс ќе се менува и во неа, по пат на електромагнетна индукција, ќе се индуцира ЕМС. Големината на индуцираната ЕМС зависи од интензитетот на магнетното поле во кое се наоѓа намотката, како и од брзината на вртењето на намотката. Ако се приклучи волтметар на металните прстени, може да се мери индуцираната ЕМС во намотката. При тоа се констатира дека насоката на ЕМС се менува за секој половина вртеж на намотката (од  $0^\circ$  до  $180^\circ$  е со една насока и од  $180^\circ$  до  $360^\circ$  има спр-

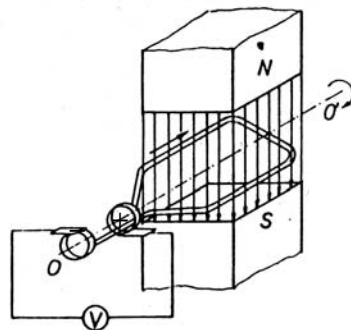
тивна насока), што значи дека создадената ЕМС се менува периодично, односно е наизменичен напон.



Сл.11.6. Генератор на наизменичен напон: 1 – неподвижен дел (статор); 2 – подвижен дел (ротор); 3 – статорска намотка

Генераторот на наизменичниот напон (сл.11.6) е составен од три основни делови: неподвижен дел – статор (1), подвижен дел – ротор (2) и статорска намотка (3). Статорот е направен од тенки лимови од феромагнетен материјал во форма на шуплив цилиндар, кој од внатрешната страна има жлебови преку кои се распределува статорската намотка. И роторот е магнет, кој под дејството на надворешниот механички момент, се врти со константна аголна брзина  $\omega t$ .

Иако денес се во многу помала употреба, постојат и генератори за еднонасочна струја (сл.11.7). Нивната конструкција е слична со оние за наизменична струја со таа разлика што кај нив лизгачкиот контакт со намотката се остварува со помош на полупрстени. Во моментот на менувањето на насоката на индуцираната ЕМС во намотката, поради нејзиното вртење околу оската, се менуваат и краевите на навивката на кои е приклучен волтметарот. Тоа значи дека индуцираната ЕМС ќе има една насока, па така изведениот електричен генератор претставува генератор на еднонасочна ЕМС.

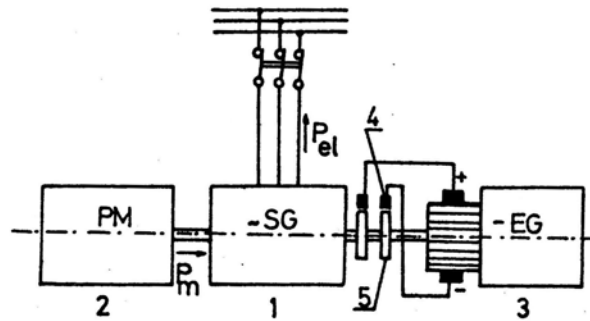


Сл.11.7. Генератор за еднонасочна струја

Генераторите за еднонасочна струја денес се потиснати од разни полупроводнички насочувачи, така што еднонасочната струја се добива со насочување на наизменичната струја. Нивната примена е задржана уште како возбуди гене-

ратори за синхроните машини, како генератори за заварување, во некои транспортни уреди и слично.

### Принцип на работта на синхрон генератор



Сл.11.8. Блок-шема за претворање на механичката енергија во електрична:  
1–синхрон генератор (SG), 2 –погонска машина (PM), 3 –генератор за еднонасочна струја (EG) (будилник), 4 –четчиња, 5 –прстени

На сл.11.8. прикажана е блок-шема за претворање на механичка енергија во електрична.

Намотката од роторот на синхронизираниот генератор (1) се напојува со еднонасочна струја преку четчињата (4) и прстените (5) од генераторот за еднонасочна струја (3). Поради фактот што роторот се врти со постојана брзина под дејство на погонската машина (2), еднонасочната струја создава постојано магнетно поле, кое по механички пат, станува вртливо магнетно поле.

Полето кое го создава роторот се вика возбодно поле, а еднонасочната струја која тече низ намотката од роторот возбодна струја. Затоа роторот се вика уште и индуктор. Кога роторот се врти со постојана брзина, возбодното поле ги сече спроводниците на повеќефазните намотки на статорот во кои се индуцира наизменична електромоторна сила  $E''$ , чија големина е дадена со изразот:

$$E'' = 2,22 f k'' N'' \Phi' \quad [V]$$

$E''$  – индуцираната електромоторна сила во намотката од статорот при празен од.

$f$  – фреквенција на индуцираниот напон

$k''$  – фактор на намотување на намотките на статорот

$N''$  – број на спроводници во една фазна намотка

$\Phi'$  – магнетен флукс по еден пол на роторот

Кога се приклучени електричните потрошувачи, што значи дека намотките од статорот се затвораат со струи под чие влијание се создава вртливо магнетно поле на статорот, кое се врти со иста брзина и насока како и роторот што значи дека полето на роторот и статорот се едновремени па затоа тоа се вика синхронизам.

Синхрониот генератор примената механичка енергија ја претвора во електрична енергија на променливи напони и струи. Поради тоа што во статорот се индуцираат овие повеќефазни напони и струи, тој се нарекува уште и индукт.

Како и кај сите уреди, и овде настануваат загуби и тоа: електрични, магнетни и механички загуби.

Електричните загуби на моќност настануваат во намотките на статорот и роторот како резултат на нивното загревање.

Магнетните загуби се јавуваат поради постојано магнетизирање и размагнетизирање на магнетното коло (магнетен хистерезис).

Механичките загуби претставуваат загуби на моќност кои се јавуваат како резултат на триењето во лежиштата, триењето на четчињата со прстените и др.

Затоа треба да се земе во предвид степенот на искористување кој го претставува односот помеѓу електричната моќност која генераторот ја одава ( $P''$ ) и механичката моќност која ја прима на својата оска ( $P'$ ).

$$\eta = P''/P'$$

Кај генераторите со голема моќност, степенот на искористување е голем и може да има вредности:  $\eta = 0,96$  до  $0,97$ .

На секоја табла на генераторот се дадени неговите карактеристики како номинални големини. Кога тој би работел со номиналните големини, тогаш се обезбедува трајна и сигурна работа.

- Номиналната моќност на генераторот се изразува во kVA или во MVA и ја претставува моќноста што машината може трајно да ја оддава, а да не се надмине дозволената работна температура на изолацијата и на намотките и другите активни делови.

Постојат и други карактеристики кои се даваат на натписната табла, како номиналниот напон, номиналната струја, врската на намотките, бројот на половите, фреквенцијата, бројот на вртежите и др.

### 11.2.2. Асинхрони машини

Асинхрона машина е вртлива машина за наизменична струја кај која брзината на вртењето на роторот се менува во зависност од оптоварувањето. Таа може да работи во режим на мотор, во режим на генератор или како електромагнетна сопирачка.

Асинхроните мотори се карактеризираат со многу едноставна конструкција и голема сигурност при работата, но и со голем степен на искористување.

Затоа од вкупното производство на електромотори, над 80% припаѓа на овие мотори. Нивната примена е многу широка, како во индустријата, рударството, така и во многу други области. Можат да работат со една или три фази.



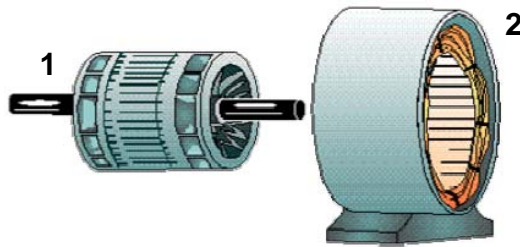
Недостатоци на асинхронниот мотор се: го намалуваат факторот на моќност  $\cos \varphi$ , имаат мала можност за рамномерна регулација на брзината, имаат лоша карактеристика при пуштањето во работа и др.



Сл.11.9. Надворешен изглед на асинхрон мотор

За разлика од трансформаторот, кој работи според принципот на статичка електромагнетна индукција, и електричниот генератор и асинхронниот мотор ја користат динамичката електромагнетна индукција. Преносот и претворањето на електричната енергија во механичка се врши преку резултантното вртливо магнетно поле, создадено од статорската и роторската намотка.

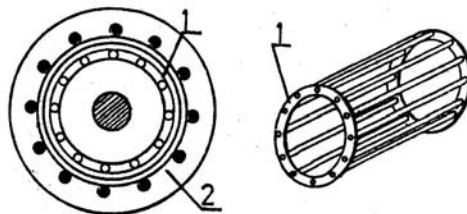
Асинхронниот мотор (сл.11.10) се состои од два основни дела и тоа: статор (2), како неподвижен дел, и ротор (1), како вртлив дел.



Сл.11.10. Составни делови на асинхрон мотор: (1) – ротор, (2) – статор

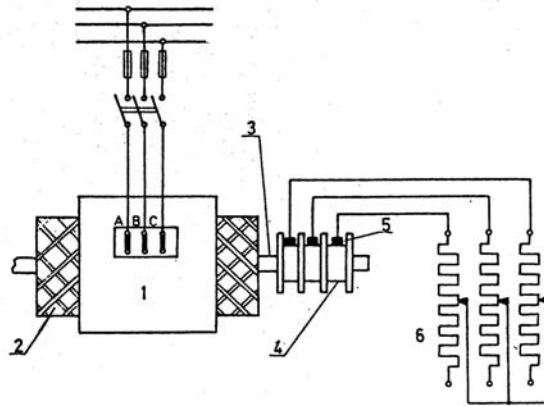
Статорот претставува куќиште кое по површината најчесто има ребра за зголемување на површината за ладење (сл.11.9).

Во однос на изведбата на роторот може да биде кафезен (краткоспоен) и намотан ротор (со прстени). По обемот на роторот се наоѓаат жлебови во кои се поставуваат неговите спроводници.



Сл.11.11. Асинхрон мотор со кафезен ротор: (1) – ротор, (2) – статор

Кај кафезниот ротор (сл.11.11) во жлебовите се поставуваат бакарни прачки кои од двете страни цврсто се поврзани на прстени изработени од бакар, со што се добива кафезен ротор. Недостаток на овие краткоспоени ротори е тоа што при пуштањето во работа од мрежата повлекуваат голема струја, па затоа се изработуваат само за мали моќности.

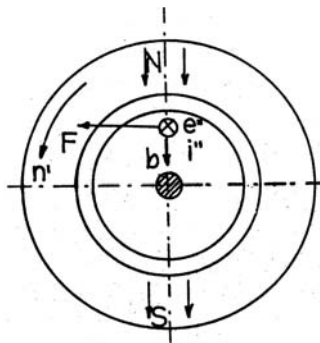


Сл.11.12. Трифазен асинхрон мотор со прстени (со намотан ротор): 1 – статор, 2 – ротор, 3 – вратило, 4 – прстени, 5 – четчиња, 6 –отпорник за пуштање во работа

Кај намотаниот ротор (сл.11.12) намотките се изведуваат со прачкасти спроводници со правоаголен пресек. Во жлебовите се поставуваат три намотки, така што влезните краеве кратко се спојуваат, а излезните се изведени на три прстени поставени на вратилото од роторот. Прстените најчесто се изработуваат од бакар и се изолирани меѓусебно и во однос на вратилото.

#### Принцип на работата на асинхрон мотор

Работата на асинхрон мотор е на принцип на динамичка електромагнетна индукција.



Сл.11.13. Шема на создавање на електромагнетна сила и момент кај асинхрон мотор

Намотките на трифазниот статор се приклучуваат на наизменичен трифазен напон, при што низ неподвижните спроводници на статорот ќе течат трифазни наизменични струи, а полето што го создава статорот е Теслино вртливо поле. Брзината на вртливото поле се нарекува синхронна брзина.

$$n' = \frac{60f}{p} [\text{врт} / \text{min}]$$

$n'$  [врт/min] – синхрона брзина

$f$  [Hz] – фреквенција на струја

$p$  – број на парови полови на намотките на статорот

Вртливото магнетно поле ги сече едновременно спроводниците на статорот и роторот. Поради динамичката електромагнетна индукција, во нив се индуцираат напони. Кога електромагнетното поле ќе се заврти за половина вртеж, спроводниците од двете намотки доаѓаат под спротивни магнетни полови поради што се менуваат насоките на индуцираните напони во нив па, така, со време, индуцираните напони се менуваат со иста брзина како и брзината на индуцираното магнетно поле. Силата на радијалното растојание од спроводникот до центарот на роторот, претставува електромагнетен момент под чие влијание се движи моторот. Со сумирање на електромагнетните моменти, се добива вкупниот електромагнетен момент. Значи, роторот се движи во иста насока како и вртливото магнетно поле. Ако брзината на роторот се изедначи со брзината на вртливото поле, во неговите спроводници нема да се индуцира ЕМС, што значи дека нема да тече струја, односно нема да се создаде електромагнетна сила, односно електромагнетен момент со што роторот ќе ја забави брзината така што нема да ја достигне брзината на вртливото поле. Неговата брзина секогаш е помала од синхроната брзина и се нарекува асинхрона брзина. Произлегува дека електричната енергија која се доведува на статорот со посредство на вртливото магнетно поле се трансформира во механичка енергија која роторот ја оддава на својата оска.

Разликата помеѓу синхроната брзина и брзината на вртењето на роторот се нарекува апсолутно лизгање. Релативното лизгање е односот помеѓу апсолутното лизгање и синхроната брзина.

$$s = \frac{n' - n}{n'} \quad n = \frac{n' - 1}{1 - s} = \frac{60f}{p} (1 - s)$$

$n$  [врт/min] – брзина на вртење на роторот

$n'$  [врт/min] – синхрона брзина

$f$  [Hz] – фреквенција на напонот на мрежата

$p$  – број на парови полови на намотките на статорот

$s$  – лизгање, каде:

$s = 1$  – при мирување на роторот

$s = 0$  – при максимална брзина на вртење на роторот

Регулацијата на брзината на вртењето на асинхронот мотор може да се изведе преку менување на лизгањето, со менување на бројот на парови полови и со менување на фреквенцијата. Во најголем број случаи, кај асинхроните мотори со намотан ротор, се става дополнителен активен отпор во колото на роторот при што се менува лизгањето при кое моторот развива номинален момент. Со оваа постапка може рамномерно да се намалува брзината на вртењето на моторот, односно брзината е толку помала колку што е дополнителниот отпор поголем. Притоа, треба да се има предвид дека доаѓа до нама-

лување и на моќноста на моторот, односно на степенот на искористување. Менувањето на насоката на вртењето кај трифазните асинхрони мотори се изведува со измена на врските на две статорски намотки со електричниот извор. Со едно такво поврзување на намотките, се менува и насоката на вртливото магнетно поле со што се менува и насоката на вртењето на моторот.

Номиналните големини кај електричните мотори се означени со табличка и ги покажуваат условите при кои моторот може да работи сигурно, да не дојде до загревање над дозволената температура.

- Номиналната моќност се изразува во W и kW и ја претставува механичката моќност што моторот може да ја развие на својата оска при номинален напон и номинална фреквенција, при температура на околината не поголема од 400°C и при надморска височина до 1000 m.
- Номиналниот напон се изразува во волти V и го претставува напонот за кој е конструиран асинхрониот мотор.
- Номиналната фреквенција се изразува во Hz, а дозволеното отстапување од фреквенцијата е  $\pm 5\%$ .

Другите номинални големини се: номиналната струја во ампери, номиналната брзина на вртење (врт/min), номиналниот фактор на моќност ( $\cos \phi$ ), степенот на искористување, спрегите на намотките, тежината на моторот, типот на моторот и др.

### Пример 2

Лизгањето кај еден шестполен асинхрон мотор се менува во граници од 1% до 3,5%, при промена на оптоварувањето од празен од до номинално оптоварување. Моторот е прикучен на мрежа со фреквенција 50 Hz. Во кои граници ќе се менува брзината на вртење на моторот при промена на оптоварувањето?

Решение:

$$n_1 = \frac{60f}{p} (1 - s_1) = \frac{60 \cdot 50}{3} \left(1 - \frac{1}{100}\right) = 1000 \cdot (1 - 0,01) = 990 \text{ врт / min}$$

$$n_2 = \frac{60f}{p} (1 - s_2) = \frac{60 \cdot 50}{3} \left(1 - \frac{3,5}{100}\right) = 1000 \cdot (1 - 0,035) = 965 \text{ врт / min}$$

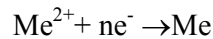
## 12. ЕЛЕКТРОХЕМИСКИ ПОЈАВИ

Електрохемијата класично се дефинира како наука која ги проучува промените што се случуваат под дејство на електричната струја, како и производството на електрицитетот преку енергијата на некоја хемиска реакција. И двете споменати подрачја се многу битни за проучување, но сепак еден инженер сигурно дека повеќе ќе се сретне со појавите кои се случуваат под дејство на електричната струја. Тука, пред сè, се мисли на *електролиза*, т.е. процес кога електричната енергија се претвора во хемиска енергија. Треба да се спомнат и процесите на електрохемиско нанесување на превлеки со цел да се подобрат надворешните својства на основниот материјал, процесите на електрорафинација и електроекстракција на метали, итн.

Галванските елементи ја претвораат хемиската енергија во електрична, додека електролизата е обратен процес на претворање на електричната енергија во хемиска енергија.

Електролиза е оксидоредукциски процес кој се одвива во раствор на електролит, под дејство на електрична струја, при што позитивно наелектризираните јони на електролитот се насочуваат кон негативната електрода (катода), а негативно наелектризираните кон позитивната електрода (анода), при што настанува неутрализација.

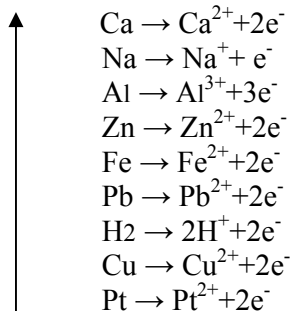
При процесот на електролиза катодата се оксидира:



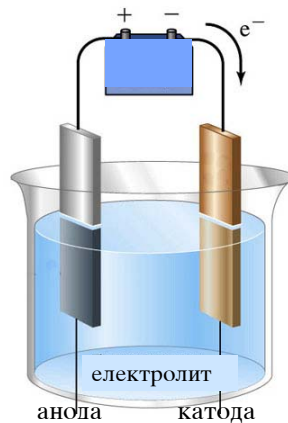
а анодата се редуцира и се јавува како оксиданс:



Способноста да се неутрализираат јоните на металите се определува од нивната положба во напонскиот ред, каде е даден нормалниот потенцијал на металите во волти, определен според нормалната водородна електрода чиј потенцијал е 0.00.



Во насока на стрелката расте редуциската моќ на металот, истиот полесно се оксидира, опаѓа стандардниот редокс потенцијал, а со тоа се зголемува хемиската активност на металот.



Сл.12.1. Електролиза

Ако во растворот едновременно се наоѓаат јони на два или неколку метали, нај-прво се неутрализираат јоните на тој метал чиј негативен потенцијал е помал.

*Фарадеевиите закони* ги дефинираат квантитативните односи меѓу количината на електрицитетот која проаѓа низ растворот и количеството на материјата која реагира на електродите.

- Прв Фарадеев закон: Количеството на одделена (или разложена) материја при електролизата е пропорционално на количеството електрицитет што поминало низ растворот.
- Втор Фарадеев закон: Еднакви количества електрицитети од различни хемиски соединенија одделуваат еквивалентни количества на супстанции.

$$Q = I \cdot t$$

$Q$  [C] – количество електрицитет

$I$  [A] – јачина на струјата

$t$  [s] – време

$$F = N_A \cdot e^-$$

$F$  [C/mol] – Фарадеева константа

$N_A$  [mol<sup>-1</sup>] – Авогадров број

$$F = 6,022 \cdot 10^{23} [\text{mol}^{-1}] \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} [\text{C}] = 96500 [\text{C/mol}]$$

$$m = \frac{M \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

$m$  [g] – количество супстанција кое се разложува или издвојува на електродите

$M$  [g/mol] – атомска или молекуларна тежина

$z$  – број на електрони разменети со електролизата

$I$  [A] – јачина на струјата  
 $t$  [s] – време на електролиза  
 $F$  [C/mol] – Фарадеева константа

$$\mu = \frac{M}{z \cdot F}$$

$\mu$  – електрохемиски еквивалент

$$m = \mu \cdot I \cdot t$$

$$\eta = \frac{Q_t}{Q_s} \cdot 100(\%) = \frac{m_s}{m_t} \cdot 100(\%)$$

$Q_t$  [C] – теоретски потребно количество електрицитет  
 $m_t$  [g] – теоретско количество на продукт

$$\Delta G = z \cdot F \cdot E_r$$

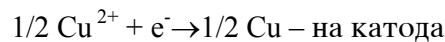
$E_r$  – теоретски напон на разложување

$$E_r = \frac{\Delta H}{z \cdot F} - T \left( \frac{\partial E_r}{\partial T} \right) = - \frac{\Delta H}{F \cdot z}$$

### Пример 1

Колку време треба да тече струја со јачина од 1А низ раствор на  $\text{CuSO}_4$  за да се издвои на катодата 0,11g бакар.

Решение:



$$M(\text{Cu}) = 63,5 \text{ g/mol}$$

$$e^- \rightarrow 63,5/2 = 31,773 \text{ g} = M(1/2 \text{Cu})$$

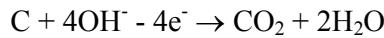
$$Q = n \cdot F = \frac{m(\text{Cu})}{M(1/2 \text{Cu})} \cdot 96500 = \frac{0,11}{31,773} \cdot 96500 \left[ \frac{\text{g} \cdot \text{C} \cdot \text{mol}^{-1}}{\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} \right] = 334[\text{C}]$$

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{334}{1} = 334 \left[ \frac{\text{C}}{\text{A}} = \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{A}} \right] = 334[\text{s}]$$

**Пример 2**

Волуменската концентрација на хлорот во гасот, што се добива при алкална електролиза со дијафрагма е 98,5%, а на CO<sub>2</sub> е 0,8%. Искористувањето на струјата по хлорот и хидроксидот е 95%. Да се пресмета потрошувачката на графитот кој анодно се оксидира по 1000 kg NaOH, како и делот на анодната струја која се троши на оксидација на графитот до CO<sub>2</sub>

Решение:



$$\mu(\text{C}) = \frac{12}{4 \cdot \frac{96500}{3600}} = 0,112 [\text{g} / \text{Ah}]$$

$$\mu(\text{CO}_2) = \frac{22,4 \cdot 1000}{4 \cdot \frac{96500}{3600}} = 209 [\text{cm}^3 / \text{Ah}]$$

$$\mu(\text{Cl}_2) = \frac{22,4 \cdot 1000}{2 \cdot \frac{96500}{3600}} = 418 [\text{cm}^3 / \text{Ah}]$$

$$\mu(\text{NaOH}) = \frac{40}{1 \cdot \frac{96500}{3600}} = 1,49 [\text{g} / \text{Ah}]$$

Делот од анодната струја, што се троши за образување на CO<sub>2</sub>, се пресметува од односот:

$$\frac{\eta(\text{CO}_2)}{\eta(\text{Cl}_2)} = \frac{C(\text{CO}_2)}{\mu(\text{CO}_2)} \cdot \frac{C(\text{Cl}_2)}{\mu(\text{Cl}_2)}$$

$$\eta(\text{CO}_2) = \left( \frac{0,8}{209} \cdot \frac{98,5}{418} \right) \cdot 95 = 1,55\%$$

Потрошувачката на графит, што се оксидира анодно, е:

$$m = \frac{\mu(\text{C}) \cdot \eta(\text{CO}_2)}{\mu(\text{NaOH}) \cdot \eta(\text{NaOH})} \cdot 1000 = 1,23 \text{kg} / 1000 \text{kg}$$

**Пример 3**

Според термодинамичките податоци, да се пресмета теоретскиот напон на разложување на водениот раствор на натриум хлоридот при 90°C за електрохемиски процес во алкален електролизер со дијафрагма. Промената на енталпијата при реакцијата:



изнесува 224853 J, а температурниот коефициент на електромоторната сила за електрохемискиот систем H<sub>2</sub> | OH<sup>-</sup> | Cl<sup>-</sup> | Cl<sub>2</sub> е 0,0004 V/степен

Решение:

$$E_r = \frac{\Delta H}{zF} - T \left( \frac{\partial E_r}{\partial T} \right) = \frac{224853}{96500} - 363 \cdot 0,0004 = 2,185 [\text{V}]$$



## 12.1. ГАЛВАНИЗАЦИЈА (ЕЛЕКТРОПЛАТИНИРАЊЕ)

Галванизација е процес кој се бави со производство на метални превлеки на метални а во помала мерка и на неметални предмети со цел да се заштити предметот кој се галванизира, да се подобрат неговите својства, како и да се добие декоративност. Тие превлеки се тенки слоеви на некој друг благороден метал или легура и се нанесуваат по електролитски пат. Преку галванизација се овозможува употреба на релативно евтини метали од кои може да се изработи предметот, а тие основни материјали да се превлекуваат со слој или слоеви на други метали, при што се подобрува нивниот изглед, но се подобрува и отпорноста кон некои деструктивни атмосферски влијанија и прилики во индустријата.

Галванизацијата се изведува во електролизери каде металниот предмет кој треба да се галванизира се поврзува како катода, а доколку предметот е изработен од неметален материјал, најпрво треба неговата површина да се подготви на соодветен начин за да стане спроводлива.

Анодите за галванизација можат да бидат растворливи или нерастворливи.

Тоа се електроди изработени од метали од кои треба да биде изработена превлеката.

Растворите за галванизација, покрај основниот електролит, содржат и други додатоци коишто влијаат во подобрувањето на квалитетот на добиената превлека.

Пред започнувањето со процесот на галванизација, потребна е обработка на металните површини на предметите кои треба да се галванизираат. Како прва метода е *одмаснувањето* или *електролитско чистење*. Претходно треба да се знае со каков вид маст е замастена металната површина како и од каков материјал е направен предметот кој се галванизира. За одмастување најчесто се користат раствори на натриум и калиум хидроксид како и водено стакло со разни додатоци. Во овие раствори се додаваат и алкалните соли  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  за подесување на алкалноста, а тие помагаат и во емулгирањето на нечистотиите. Потоа се оди на постапката на *нагризување* кога се отстрануваат металните оксиди. За оваа постапка се користат најчесто сулфурната киселина, азотната киселина како и натриум хидроксидот. Следува постапката на *полирање* кога предметот добива мазна и сјајна површина што влијае на порамномерно и поквалитетно прекривање. Средства за полирање се: абразивната хартија со различна градација, корундот, кварцниот песок, дијамантските пасти и др.

Полирањето може да се изведе и по хемиски пат или пак под дејство на електрична струја и во тој случај се нарекува електрохемиско полирање, односно електрополирање.

Галванизацијата може да се изврши во мали погони или занаетчиски работилници, како и во големи индустриски погони со индустриски размери.

Температурата битно влијае на галванизацијата, па затоа загревањето се врши со помош на парни цевки или со електрични грејачи.

Галванизацијата најчесто се користи при побакрување, пониклување, хромирање, поцинкување, калаисување, посребрување, позлатување, како и при елоксирање. Со елоксирање обично се заштитува алуминиумот и неговите легури кога на неговата површина по електролитички пат се создаваат тенки оксидни филмови со различна дебелина и боја.

## 12.2. ГАЛВАНОПЛАСТИКА

Галванопластиката се применува за добивање на точни метални копии на украси, клишеа, печатарски цилиндри и други предмети.

При овој процес, основниот предмет кој се прекрива, во најголем број случаи, не е метал. Прекривката има поголема дебелина и треба лесно да се отстранува од основниот предмет врз кој е нанесена.

Галванопластиката се изведува со следниве технолошки постапки:

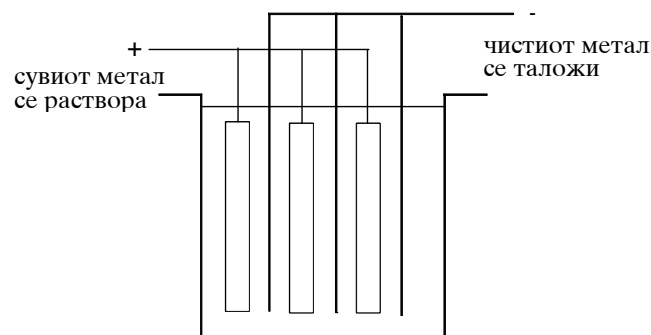
- Приготвување на метални и неметални калапи;
- Нанесување на електроспроводлив слој на неметални калапи;
- Нанесување слој за разделување – за метални калапи;
- Одделување на калапот од добиената копија и завршна обработка на копијата.

## 12.3. ЕЛЕКТРОХЕМИСКИ ПРОЦЕСИ

Електрохемиските процеси кои се одвиваат непосредно на електродите за време на електролизата, всушност се електрохемиски промени меѓу јоните и електроните.

Тие можат да се поделат во две групи: електрооксидација–електрохемиски процес кој се одвива на анода, и електроредукција–електрохемиски процес кој се одвива на катода.

Ако металите се облагородуваат или се пречистуваат со електролиза, во присуство на растворлива анода, постапката се нарекува *електрорафинација*, а кога се работи за нерастворливи аноди, постапката се нарекува *електро-ексјирација*.



Сл.12.2. Електрорафинација

При конструкција на бањите за електролитски ќелии, тие треба да бидат хемиски отпорни, односно да не стапуваат во реакција со електролитот, да ја имаат потребната механичка цврстина и да ги поседуваат потребните топлински и изолаторски карактеристики. Бидејќи ваквите материјали имаат висока цена на чинење, се избираат поевтини материјали со добри механички и изолаторски својства, а потоа со заштитни превлеки истите ги добиваат и

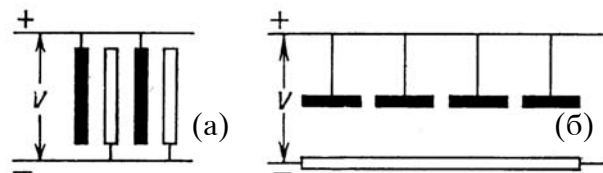
другите потребни карактеристики. Како неспроводливи, односно изолаторски материјали за изградба на електролизери се користат: камен, порцелан, стакло, цемент или бетон, а исто така може да се користи и: дрвото, пластичните маси и емајлираните садови. Конструкцијата на бањите со поголеми димензии, од кои се бара поголема цврстина се изработуваат, главно, од челик кој одвнатре се распоредува во слоеви, врз основа на хемиското и топлинското оптоварување. Конструктивните решенија на електролизерите: димензиите, обликот и поставувањето на електродите како и на другите составни делови, може да бидат различни, во зависност од видот на електрохемиската реакција и продуктите кои се ослободуваат, во зависност од тоа дали електродите се растворливи или нерастворливи, како и од потребната температура на загревање или на ладење за дадената електрохемиска реакција.

Димензиите на електродите зависат од предвидениот капацитет на електролизерот, односно од густината на струјата што електролизерот може да ја прими. Електродите во електролизерите најчесто се поставуваат во вертикална положба, а растворливите аноди може да се постават и на дното од електролизерот. Поставеноста на електродите зависи и од начинот на нивното поврзување.

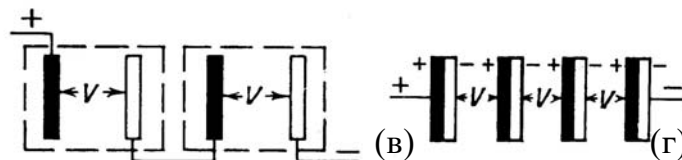
### 12.3.1. Начини на поврзување на електродите при електролиза

Постојат три основни начини на поврзување на електродите при електролиза:

- паралелно (монополарно) поврзување
- редно (монополарно или биполарно) поврзување
- комбинирано поврзување



Сл.12.3. Паралелно поврзување: (а) и (б) – монополарно

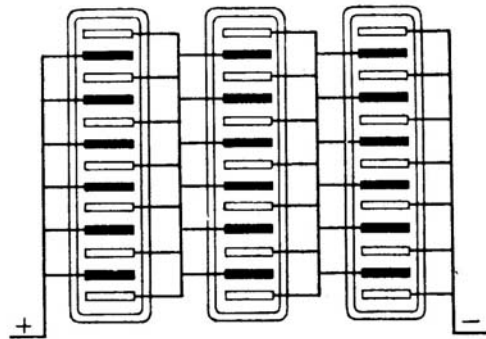


Сл.12.4 Редно поврзување: (в) – монополарно; (г) – биполарно

Кај биполарното поврзување (сл.12.4.г) секоја од електродите од едната страна е катода, а од другата страна анода, и се поврзуваат само крајните електро-

ди на системот. За да не се намали искористувањето на струјата, деловите на биполарните електроди со спротивен поларитет се сместуваат во непропустливи одвоени прегради или во одвоени ќелии.

Комбинираното поврзување (сл.12.5) е комбинација од редно и паралелно поврзување бидејќи во секоја бања електродите се поврзани паралелно, но бањите се поврзани редно.



Сл.12.5. Комбинирано поврзување

## 13. ЕЛЕКТРОТЕРМИЈА

Електротермија ги обработува проблемите на претворањето на електричната енергија во топлинска и ги проучува принципите, процесите, начините и постапките на загревање, како и димензионирање и примена на електричните грејни тела и другите уреди.

Предноста на електротермичкото загревање е во фактот што тоа преку електричната енергија многу полесно може да се пренесува на секое место и во секое време речиси од сите други видови енергија, и за секоја моќност на уред или апаратура.

### 13.1. ПРОЦЕСИ НА ПРЕТВОРБА НА ЕЛЕКТРИЧНАТА ЕНЕРГИЈА ВО ТОПЛИНА

Трансформацијата на електричната енергија во топлинска се случува преку четири основни процеси:

*Загревање со отпор или индукција.* Со движење на електричните полнежи во кое било тело кога тие преку судирите на честичките на тоа тело делот на својата кинетичка енергија ја трансформираат во топлина (работен отпор) или преку променливото магнетно поле предизвикано од струјата кога поминува низ некој спроводник.

*Загревање со магнетизирање.* Во наизменично магнетно поле поради внатрешната деформација на материјата предизвикана од повеќекратната промена на магнетизирањето доаѓа до загревање, а со тоа дел од енергијата се претвора во топлина.

*Загревање поради диелектрични загуби.* Со повеќекратна промена на поларизацијата на диелектрикот, делот на енергијата се трансформира во топлина.

*Загревање со млаз од честички.* Забрзување на електрони и јони преку електрично поле и нивно насочување кон некој предмет кога преку судир поголемиот дел на енергијата ја предаваат на предметот во вид на топлина.

#### 13.1.1. Класификација на електротермичките постапки

Загревањето во електротермијата се изведува директно или индиректно преку:

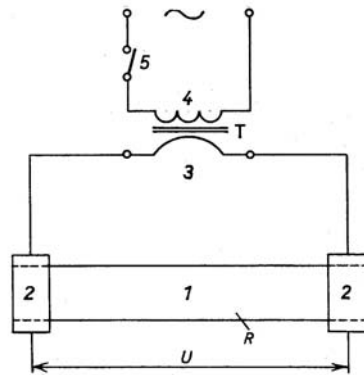
- загревање со електричен отпор
- индукционо загревање
- загревање со диелектрични загуби
- загревање со електричен лак
- загревање со електронски млаз

## Загревање со електричен отпор

Загревањето преку електричен отпор ги вклучува сите постапки на електричното директно или индиректно загревање при протекување на еднонасочна или наизменична струја со ниска фреквенција низ цврста или течна средина. Загревањето со електричен отпор може да биде преку директно загревање на материјалот, кога електричната енергија се трансформира во топлинска во самиот материјал што се загрева, како и со индиректно загревање кога топлината од директно загреаното тело се пренесува на материјалот преку зрачење, конвекција или со спроведување (кондукција).

### Директно загревање со електричен отпор

Директното загревање со електричен отпор е еден од најекономичните начини на загревање бидејќи електричната енергија се трансформира во топлина во самиот предмет кој термички се обработува. Главниот проблем кој се појавува при загревањето со помош на електричниот отпор е сведувањето на контактната отпорност меѓу површините на држачите и површините на предметот во што помала мера. Тоа се постигнува со поголеми контактни површини и со изградба на држачите од што подобар спроводлив материјал.



Сл.13.1. Шема на уред за директно загревање со електричен отпор: 1–тело кое се загрева, 2–контактни држачи, 3 –секундарна намотка на трансформаторот, 4 – примарна намотка на трансформаторот, 5 –прекинувач

Со вклучување на прекинувачот се воспоставува напон на краевите на предметот кој треба да се загрее. Со протекување на струјата низ него, електричната работа се трансформира во топлина. Затоа ваквиот начин на електрично загревање е и најекономично.

За постигнување на помал отпор меѓу површините на држачите и површините на предметот, се прават поголеми контактни површини и со подобар спроводлив материјал.

Топлината која се ослободува во телото што се загрева е:

$$Q = C m (T_1 - T_0) = \eta (P \cdot t)$$

$Q$  [W] – топлотна енергија

$C \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$  – топлотен коефициент

$m$  [kg] – масата на телото кое се загрева

$T_0$  и  $T_1$  [ $^\circ\text{C}$ ] – почетна и крајна температура на телото

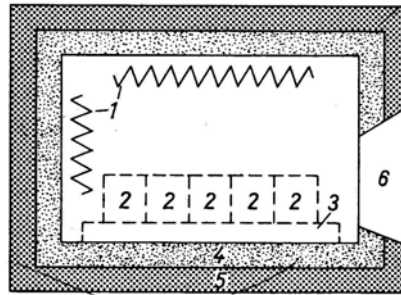
$P$  [W] – моќност на грејачот

$t$  [s] – времето за кое трае процесот на загревање

### Инди́ректно загревање со електи́ричен о́тпор

Инди́ректното загревање со електричен отпор овозможува директно загревање на некое грејно тело, а постапките на таквото загревање зависат од начинот на пренесување на топлината од тоа грејно тело до предметот што се загрева.

Инди́ректното загревање со електричен отпор се изведува со зрачење, со конвекција и со кондукција. Загревањето преку зрачење и конвекција се изведува во затворени комори, односно шаржни печки.



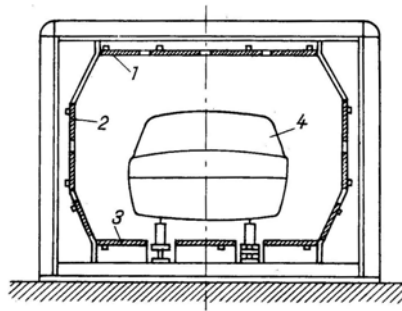
Сл.13.2. Коморна шаржна печка за инди́ректно загревање преку конвекција и зрачење: 1– грејачи, 2– предмет што се загрева, 3 – носач на предметот, 4 – внатрешна огненоотпорна обвивка, 5 – надворешна термоизолациона обвивка, 6 – отвор на печка

Употребата на ваквото загревање е во случаите каде максимално допуштена-та температура на грејното тело е доволна за процесот на загревање, како и во случаите каде е дозволено предметите да се загреваат низ нивната надворешна површина. Работната температура може да достигне и до 2700 K со грејно тело графит и евакуирана комора.

### Загревање преку инфрацрвено зрачење

Со загревањето преку инфрацрвено зрачење (IR) енергијата се пренесува од изворот до потрошувачот независно од средината во кои тие се наоѓаат, при што не се пренесува топлина, туку енергија на зрачење, а таа преоѓа во топлина по апсорпцијата во телата кои се загреваат. Изворите се нарекуваат радијатори и поголемиот дел на енергијата што ја зрачат е во инфрацрвеното спектрално подрачје.

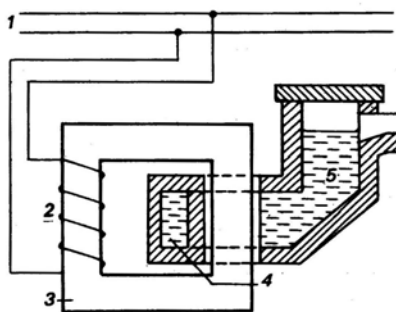
Зрачењето кое го емитуваат овие извори зависи од нивната температура, од материјалот и од квалитетот на површината, како и од спектралната распределба на енергијата. Работната температура е до 3000 К. Најзначајна примена инфрацрвеното зрачење има при термичка обработка на површини и тенки слоеви: сушење на премаз, текстил и хартија, како и при преработка на метали.



Сл.13.3. Напречен пресек на IR печка: 1–горни грејачи, 2–странични грејачи, 3–подни грејачи и 4–предмет што се загрева

### Загревање со електрична индукција

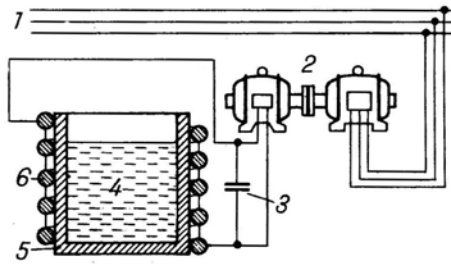
Под загревање со електрична индукција се подразбира загревање на материјалот и предметите под влијание на вртложни струи, настанати поради напоните кои се индуцираат преку наизменичното магнетно поле во кое се наоѓаат тие предмети. Уредите за загревање со електрична индукција можат да бидат со или без магнетно јадро. Кај индукционите печки со магнетно јадро секундарот претставува краткоспоен прстен од материјалот што се загрева.



Сл.13.4. Индукциона печка со магнетно јадро: 1–електрична мрежа за напојување, 2–примарна намотка, 3–јадро, 4–жлеб со растоп (секундарна намотка), 5–метална бања



Кај индукционите печки без магнетно јадро магнетниот флуks не е воден од јадрото, а шаржата е краткоспоен секундар.



Сл.13.5. Индукциона печка без магнетно јадро: 1–електрична мрежа за напојување, 2–претворувач на фреквенцијата, 3–кондензатор, 4–шаржа, 5 намотка.

Најважната примена на индукционото загревање е во подрачјето на топењето на металите, но значајни се и индукционите постапки на лемење и заварување.

#### *Греење со диелектрични загуби (електромагнетни бранови)*

Под греење со диелектрични загуби се подразбира греење на диелектрик во наизменично електрично поле со топлина која притоа во нив настанува со конверзија на апсорбираната електромагнетна енергија (диелектрични загуби). Познато е како загревање со електромагнетни бранови или кондензаторско загревање. Може да се изведува при високи или ниски фреквенции.

Загревањето со микробранови се користи и во домаќинството за загревање на храна во посебно направени уреди за таа намена.

#### *Загревање со слободни електрони и јони*

Електроните, јоните и другите наелектризирани честички можат да се забрзуваат во електрично, променливо магнетно или електромагнетно поле, при што поголемиот дел на енергијата на движење во облик на кинетичка енергија ја предаваат на објектот во вид на топлина. Наелектризираните честички можат да настануваат преку јонизација на гас во електрично поле, преку термоелектронска емисија од вжарени спроводници или, пак, преку јонизација на гас при високи температури.

#### *Загревање со електричен лак*

Под загревање со електричен лак во поширока смисла се подразбира секое загревање во кое електричниот лак е извор на топлината.

При ваквото загревање постојат извесни тешкотии поради фактот што многу е тешко да се одржува еден константен режим на работа кога се употребува едностраночна струја. Тие тешкотии произлегуваат од фактот што не е можно со моќноста на електричниот лак (продукт на јачината на струјата и напонот

на лакот) произведената топлина да се одржува во еднаков износ со онаа која што се одведува од него, а тоа, пак, е услов за одржување на спроводливоста на плазмата во столбот на лакот.

Ваквиот проблем донекаде се елиминира со регулација на напонот. Таму каде што лакот се напојува со еднонасочна струја преку некој генератор со константен напон, тоа се постигнува со помош на еден предотпорник со определен отпор кој се вклучува во колото.

Современиот степен на развој на насочувачките уреди, во практиката, дозволува да се применат системите на загревање со електричен лак со опишаните својства само до толку додека моќноста на апаратот за тоа не преминува извесни граници. Инаку, кај електролачните печки, кои можат да имаат моќност поголема од 50 MW, мора да се прибегне кон напојување на лакот со наизменична струја, но со тоа својствата на загревање со наизменична струја битно се разликуваат. Во таков случај електродите не задржуваат ист поларитет, што значи дека при секоја полупериода лакот се гаси и се пали. Затоа, и при примената на наизменична електрична струја во електричните лакови мора да се употребуваат посебни трансформатори со мала омска отпорност.

Со електричен лак можат да се постигнуваат големи концентрации на моќности, а тоа значи се овозможува достигнување на многу големи температури и тоа со вредности од  $10^4$  K, односно и до 50000 K.

Во примената на загревање со електричен лак обично се разликуваат две основни подрачја. Едното е електролачното заварување, а другото електролачното загревање.

Подрачјето на греење со електричен лак го зафаќа загревањето во електролачните печки, при што постои директен начин на греење, индиректен начин и комбиниран начин.

Првиот начин повеќе се употребува кај гасовитите реакции и во некои металуршки процеси каде лакот гори меѓу електродите во шаржата.

## КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

1. Raymond A. Serway, *Physics for Scientists and Engineers*, Fourth Edition, Saunders college publishing, 1996.
2. John Bird, *Electrical and Electronic Principles and Technology*, Newnes, Ohford, 2000.
3. Hrvoje Pozar, *Tehnička enciklopedija*, Zagreb 1988.
4. Леонид Грчев, *Основи на елекџроинџехника 1*, ЕТФ, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје 2006.
5. Леонид Грчев, *Основи на елекџроинџехника 2*, ЕТФ, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје 2005.
6. Viktor Pinter, *Osnove elektrotehnike*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1975
7. Rufus P. Turner, *Practical Oscilloscope Handbook*, John F. Rider Publisher, Inc, New York, 1964.
8. Serope Kalpakian, Steven R. Schmid, *Manufacturing engineering and tedhnology*, Ars Lamina, 2009.
9. S.M.Size & Kwok.K.Ng, *Physics of semiconductor devices*, Third edition, John Wiley & Sons, Inc, 2010.
10. Cirlo Jelačić, *Hemiska veza i struktura molekula*, Tehnička knjiga, Zagreb 1982.
11. Drago Grdenić, *Molekule i kristali*, Školska knjiga, Zagreb 1979.
12. Strahinja Zečević, Snežana Gojković, Branislav Nikolić, *Elektrohemijsko inženjerstvo*, Beograd 2001.
13. Edmund C. Potter, *Elektrokemija*, Školska knjiga, Zagreb 1968.
14. Ванчо Ивановски, Митко Саздовски, Прван Давитков, *Применетна елекџроинџехника*, Скопје 1993.
15. Dušan Lazarević, *Osnovi hemiskih strujnih izvora*, Beograd 1943.
16. В. Џ. Јованович, *Основна елекџрична мерења*, Београд 1964.
17. Драгослав А. Рајчиќ, *Елекџрично осветлување*, ЕТФ, Скопје, 1993.
18. Џ. Калич, *Трансформатори*, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд 1991.
19. Michael R. Lindeburg, *FE Review Manual (FERM3), Rapid preparation for the Fundamentals of engineerind exam*, 3rd Edition, PPI The Power to Pass, Professional Publications, Inc., Belmont California, 2011.
20. Michael R. Lindeburg, PE, *Core Engineering Concepts for Students and Professionals*, PPI The Power to Pass, Professional Publications, Inc., Belmont California, 2010.
21. John A. Camara, PE, *Power Reference Manual for the Electrical and Computer PE Exam*, PPI The Power to Pass, Professional Publications, Inc., Belmont California, 2010.
22. John A. Camara, PE, *Electrical and Electronics Reference Manual for the Electrical and Computer PE Exam*, PPI The Power to Pass, Professional Publications, Inc., Belmont California, 2010.