

Кулонов закон

Лозница, 2016.

САДРЖАЈ

1. Увод	3
2. Електротехника – појам и подела	4
3. Електротехника – основни појмови.....	6
3.1 Наелектрисање	6
3.2 Сила између два тачкаста наелектрисања	6
3.3 Електротехнички материјали	6
3.4 Електрична струја.....	7
3.5 Електрични напон.....	7
3.6 Референтни смерови и поларитет	8
3.7 Енергија и снага	8
3.8 Електрично поље	8
3.9 Моделовање електричних система	9
3.10 Идеални електронски елементи	10
3.10.1 Идеални пасивни електронски елементи	10
3.10.2 Идеални активни електронски елементи.....	10
3.11 Идеални независни електрични извори.....	11
3.12 Идеални зависни електрични извори.....	11
4. Полупроводници.....	12
4.1 Енергетски нивои атома.....	12
4.2 <i>PN</i> спој	14
4.2.1 Неполарисани <i>PN</i> спој.....	14
4.2.2 Директно поларисан <i>PN</i> спој	15
4.2.3 Инверзно поларисан <i>PN</i> спој	15
5. Наелектрисање.....	17
5.1 Наелектрисање електрона и протона.....	17
5.2 Раздвајање наелектрисања у атомима	18

5.3 Наелектрисавање тела	18
6. Кулонов закон	20
7. Заључак	24
Литература.....	25
Списак слика	26
Списак табела.....	26

1. Увод

Некада се математика сматрала најважнијом науком, док је геометрија била најзначајнија област математике. Тада је фокус био на геометрији, а данас, скоро три миленијума касније, околности се нису много промениле, математика је још увек наука свих наука, док се фокус са геометрије померио ка информацији. Значај који је имала геометрија, у научном смислу, данас имају информације. Оне могу имати различите облике, од материјалних, опипљивих до потпуно нематеријалних, али увек су у вези са електроником, или са електронском обрадом информација, тако да смо у свакодневном навили да чујемо називе као што су електронска пошта, електронска трговина, електронско банкарство и слично. Развој електронике је омогућио да велики број послова постане електронски. Електронско банкарство, електронски маркетинг, електронска размена података, електронски системи за сакупљање и обраду података, електронске комуникације, све је то настало захваљујући развоју електронике. Живот којим живимо постао је незамислив без информационо комуникационих технологија, које се заснивају на развоју и нашем схватању електронике. Електроника је од свог настанка, преко својих открића утицала да се наши животи мењају. Од њеног настанка, промене које је доживљавало човечанство су биле скоковите, али разумљиве људима, док последње време карактерише тренд техничког и технолошког развоја који људи нису у могућности да прате.

Почеци практичне примене знања из области електронике су били у вези са производњом и имплементацијом електронских компоненти у уређајима који су били намењени тестирању, експериментисању и мерењу, а заснивали су се на првим електронским компонентама, од којих су најзначајније је биле је оне које су омогућавале појачавање сигнала. Даљим истраживањима патентирани су транзистори који су могли да се користе и као појачивачи, али и као прекидачи, елементи за стабилизацију напона и за модулацију електричног сигнала. Проналазак полупроводничких електронских компоненти је омогућио замену за елементе који су се добијали технологијом вакумских цеви, чиме је постигнут довољан ниво минијатуризације, па и смањење трошкова производње, одржавања и употребе електронских компоненти. Након развоја технологија које су омогућиле већу минијатуризацију започето је са масовном производњом интегрисаних кола, а након што су развијене технологије за компоновање различитих полупроводничких компоненти на малим површинама, започета је производња чипова, што је представљало праву електронску револуцију. Електронски чипови су знатно јефтинија од интегрисаних кола са истом наменом, као и сви трошкови који прате њихову производњу и употребу, због чега је њихова појава изменила претходну методологију пројектовања, развоја и одржавања електронских уређаја и система. Свака нова технологија, сва нова открића дугују електроници за свој развој и можемо са сигурношћу рећи да не постоји област живота у којој електроника нема своју имплементацију.

2. Електротехника – појам и подела

Све техничке науке се, у основи, ослањају на експериментална посматрања и квантитативна мерења и све имају за циљ да пронађу коначан број фундаменталних закона који доследно и у потпуности описују природне појеве. Научни закони се користе за развој теорија, а теорије за будућа предвиђања истих и сличних догађаја, што се, ако су теорије тачне, увек може проверити и потврдити експерименталним путем. Сви закони се изражавају помоћу језика математике који омогућава да се направи веза између теорије и експеримената, а уколико дође до неслагања између експеримената и теорије, то указује на потребу да се формулише нова теорија која ће превазићи несклад. Савремено друштво је организовано тако да сви стремимо вишем квалитету, вишој комплексности, вишој економичности, ефикасности и слично. Савремене технологије и технике су веома сложене и обично обухватају знања из великог броја различитих области науке и технике, што условљава сарадњу инжењера и истраживача из, исто тако, великог броја различитих области науке и технике за које су специјализовани.

Свет у коме живимо обилује великим бројем различитих електричних, електронских и информационо комуникационих технологија, аутомобили имају уређаје за надгледање и управљање, уређаји у домаћинству имају могућност програмирања рада, сви смо повезани путем мобилних телефона и компјутера који, увелико, уређују наш начин живота. Овакав технолошки развој, односно, начин живота којим данас живимо, је омогућио развој електротехнике. Електротехника је наука која проучава законе електрицитета, а обзиром на предмет изучавања, сви закони и теорије које се заснивају на њима, брзо постају основ за развој нових технологија. Електротехника потиче из физике, а већ 150 година је самостална наука у непрестаном и динамичном развоју, чему доприноси учестана појава нових грана електротехнике, као и велики број научних и стручних публикација које су по свом обиму и значају, доста изнад сличних публикација из других области. Грубом класификацијом, област изучавања електротехнике можемо поделити на изучавање електрицитета у сврху преноса електричне енергије и у сврху преноса информација.

Односно на литературу, основно језгро електротехнике можемо поделити на седам специјализованих грана:

- Електроенергетика се бави производњом и преносом електричне енергије, што је најстарија грана електротехнике. Савремено друштво зависи од енергената, а електрична енергија представља најпогоднији појавни облик енергије обзиром на високу ефикасност када је у питању претварање у неки други облик енергије (механичку, хемијску, топлотну, или светлосну), или када је у питању транспорт. Поред тога, одавно постоје ефикасни системи за претварање других облика енергије у електричну, најчешће због ефикасности транспорта.
- Електромагнетика представља спону између дела електротехнике који се бави преносом електричне енергије и осталих грана које су у вези са преносом информација. Електромагнетика се бави проучавањем и применом електричног поља, магнетног поља и струје. Електрична струја може бити једносмерна, или наизменична струја, а наизменична струја може мењати свој смер одређеном учесталошћу, односно фреквенцијом.

Фреквенција или учесталост, код периодичних промена неке величине, представља број пуних осцилација (треперења, трептаја, циклуса) у јединици времена, а јединица за фреквенцију је херц (Hz). Електроенергетику карактеришу струје фреквенције $50Hz$, или $60Hz$, док се у осталим областима користе струје знатно виших учестаности, до $1THz$. Висока фреквенција условљава зрачење које ствара електромагнетне таласе, чији проналазак је омогућио појаву радио технологија, телевизије, бежичних комуникација и друго.

- Комуникације, односно телекомуникације су грана електротехнике која се бави преносом информација помоћу класичних каблова, путем електромагнетних таласа, или путем различитих оптичких технологија. Најистакнутији део процеса преноса информација је поступак модулације, или кодирања сигнала на предајној страни и демодулације, односно декодирања на пријемној страни. Пренос сигнала није савршен, обзиром да се реализује у реалном окружењу где долази до деградације услед сметњи, шума, или услед процеса шифровања због чега се велика пажња посвећује методама за издвајање корисних информација.
- Компјутерско инжењерство је део електротехнике који се бави пројектовањем и развојем компјутерског софтвера и хардвера. Савремени компјутерски системи могу бити разноврсни, од једноставних контролера за реализовање надзорних функција, преко пословних и личних компјутера за обављање административних послова, или за забаву, па до суперкомпјутера намењених симулацији физичких процеса у областима структурне механике, метеорологије, аеродинамике, истраживања свемира и слично.
- Системско инжењерство се бави моделовањем система помоћу математичких модела у циљу описивања и предвиђања понашања тих система. Математички опис система омогућава једноставнију анализу понашања система у различитим фазама извођења експеримента, у различитим условима у којима се изводи експеримент, или приликом анализе система из реалног живота.
- Управљање системима је део електротехнике који се бави управљањем електротехничким и другим системима уз помоћ одговарајућих модела и алгоритама за реаговање у различитим ситуацијама. Управљање системима се односи на креирање, пројектовање и реализацију систем за управљање помоћу савремених компјутера, а своју имплементацију остварује у разним областима индустрије, рударства, енергетике, у управљању саобраћајем, управљањем удаљеним објектима, у развоју робота, грађевинарству и у војној индустрији.
- Електроника се бави проучавањем природе електрона и пројектовањем електронских елемената којима се контролише ток струје имплементацијом тих елемената у веже целине, развојем алгоритама за пројектовање, развојем и применом компјутера у процесима пројектовања и слично. Развој електронике има историју дугу сто година која је била изразито динамична, што не чуди обзиром на њен технолошки и друштвени значај. Непрестано се развијају нове технологије, проналазе се и конструишу нови материјали и компоненте, што знатно утиче на њен развој.

3. Електротехника – основни појмови

Електротехника изучава наелектрисање, односно електрично оптерећење, његово кретање и ефекте тог кретања. Непокретно наелектрисање назива се статичко наелектрисање, док се покретно наелектрисање дефинише као електрична струја.

3.1 Наелектрисање

Електрично оптерећење, или наелектрисање је основна особина неких субатомских честица које није могуће створити, ни уништити. Постоји позитивно и негативно наелектрисање, а установљено је правило да се ова наелектрисања обележавају алгебарским знацима „плус“ и „минус“. Уколико су два наелектрисања разноимена, она се привлаче, а уколико су истоимена, она се одбијају, односно наелектрисања различитог поларитета се привлаче, док се она истог поларитета одбијају. Раније је сматрано да је наелектрисање непрекидно и бесконачно дељиво, међутим, данас се сматра да постоји најмања количина наелектрисања која је једнака наелектрисању једног електрона, односно елементарно наелектрисање, или квант наелектрисање. Структуру атома чини позитивно наелектрисано језгро, које чине позитивно наелектрисани протони и неутрони без наелектрисања и негативно наелектрисани електрони који круже око језгра. Обзиром на је количина позитивног наелектрисања језгра атома иста количини негативног наелектрисања електрона, атоми су неутрално наелектрисани, међутим, електрони из најудаљенијих орбита могу се одвојити од атома, чиме атоми постају позитивно наелектрисани, па самим тим почињу да привлаче слободне електроне, који у одређеним условима могу почети да се крећу усмерено и формирати електричну струју. Симбол за електрично оптерећење је q , односно Q , а јединица за количину електричног оптерећења кулон $[C]$.

3.2 Сила између два тачкаста наелектрисања

Систем два тачкаста наелектрисања чине наелектрисања која су занемарљивих димензија у односу на растојање између њих. Сила којом непокретна наелектрисана тела делују међусобно једно на друго се дефинише интензитетом, правцем и смером. Силе које делују између наелектрисаних тела су привлачне ако су наелектрисања супротног поларитета, односно одбојне у случају истог поларитета. Сила између два наелектрисања зависи од количине наелектрисања, смера наелектрисања, размака између њих и врсте електричног изолатора између њих.

3.3 Електротехнички материјали

Електротехнички материјали се користе за израду електротехничких производа тако што својим својствима омогућавају оптимално деловање електричних и електромагнетних појава. Општа класификација према својствима дели електротехничке материјале на: проводнике, полупроводнике, супер проводнике, изолаторе и материјале за израду електромагнета, односно феромагнетне материјале. Материјали који поседују велики број слободних електрона и који су лако

покретљиви називају се проводницима. Уколико се проводник изложи електричном пољу долази до усмереног кретања слободних електрона, који се иначе крећу хаотично и у свим правцима, што се назива електричном струјом. Са друге стране, материјали који немају слободне електроне, или их немају довољно да би проводили електричну струју, називају се изолаторима, или диелектрицима. Уколико се на изолатор доведе наелектрисање оно остаје непокретно, односно остаје статички електрицитет, што је повољно својство када желимо да изолујемо проводнике како би смо спречили нежељене контакте делова у којима треба да се појави електрична струја од делова у којима не треба. Полупроводници су материјали који располажу малим бројем слободних носилаца наелектрисања, електрона, због чега се у одређеним условима, могу понашати и као проводници и као изолатори што је веома повољно када је у питању израда активних електронских елемената. Супер проводници су материјали који су карактеристични по томе што се код њих, на ниским температурама, електрични отпор знатно смањује, или пада на нулу, или код којих се јавља мала присутност, или потпуно одсуство магнетног поља у унутрашњости.

3.4 Електрична струја

Електрична струја је мера количине електрицитета која се померио у јединици времена. Зависно од својстава материјала који је проводник, померај наелектрисања се разликује за метале, где се механизам померања своди кретање слободних електрона, за електролите где се механизам померања своди на кретање позитивно, или негативно наелектрисаних јона, или за полупроводнике где се наелектрисање преноси услед кретања слободних електрона, или шупљина које су носиоци наелектрисања. Уобичајена ознака за струју је I , а јединица за јачину електричне струје је ампер $[A]$ који је једнак току наелектрисања од једног кулона у секунди док се смер струје поистовећује са смером кретања позитивног наелектрисања. Електротехника посматра и изучава врло различите вредности струје, док се у пракси срећу струје реда од неколико десетина хиљада ампера код муња и удара грома, у индустријским погонима и електричним возилима струје реда величина од стотину ампера, код кућних уређаја струје у опсегу од $0,5A$ до $16A$, у електронским уређајима струје реда величина mA , μA , или nA , док се у неким мерним уређајима, због прецизности мерења, користе врло мале струје, реда величина од неколико pA , колике су струје нервних импулса.

3.5 Електрични напон

Да би кроз проводник протичала електрична струја, потребно је да на њега делује електрично поље, односно потребно је да постоји потенцијална разлика на његовим крајевима, или између две тачке електричног поља. Напон је потенцијална енергија, а разлика потенцијала способност преноса наелектрисања у току електричне струје. Јединица за напон је волт $[V]$, а један волт је једнак енергији од једног џула која је потребна за померај позитивног наелектрисања од једног кулона. Уобичајена ознака за напон је U , а тренутни напон се може дефинисати као промена енергије у односу на промену наелектрисања:

$$u = \frac{\Delta w}{\Delta q} [V] \quad (3.5.1)$$

3.6 Референтни смерови и поларитет

Анализе физичких појава често подразумевају графичко приказивање и употребу система који дефинишу шта се подразумева као позитивни, а шта као негативни смер. Анализа електричних појава подразумева да напони и струје буду дефинисани по питању смера, односно да се зна која од тачака је на вишем потенцијалу, или који је смер електричне струје. Стварни смер електричне струје има правац од тачке на вишем потенцијалу, која се обично обележава са „плус“, ка тачки на нижем потенцијалу. Приликом анализе одређује се референтни смер који може бити исти као стварни, или обрнут. Уколико је референтни смер струје исти као и стварни онда се вредност висине електричног напона и вредност јачине електричне струје множи са 1, а ако је супротан, онда се множи са -1 . Анализа електричних кола подразумева одређивање вредности и референтних смерова за све напоне, или струје у колу.

3.7 Енергија и снага

Приликом проласка електричне енергије кроз потрошач струја врши рад, а способност електричне струје да врши рад назива се електрична енергија. Електрична енергија се добија дејством електромагнетног поља на наелектрисање. Анализа електричних система обухвата анализирање енергије коју ти системи предају елементима електричних кола, или коју елементи електричних кола предају систему, а смер преноса енергије зависи од смерова напона и струје. Уколико се енергија система предаје неком елементу, онда се тај елемент назива пасивним, а уколико елемент предаје енергију систему, онда се назива активним, или извором. Пасивни елементи примају струју на позитиван напонски терминал, док код активних елемената позитивна струја улази у негативни напонски терминал.

Снага се дефинише као брзина промене енергије, односно као производ електричног напона на елементу и електричне струје која пролази кроз тај елемент:

$$p = \frac{\Delta w}{\Delta t} = \frac{\Delta w}{\Delta q} \cdot \frac{\Delta q}{\Delta t} [W] \quad (3.5.2)$$

Уобичајена ознака за снагу је P , а јединица за снагу је ват $[W]$ који је једнак производу једног ампера и једног волта. Када је позната снага неког електричног, или електронског елемента, могуће је израчунати укупан рад електричне струје који је једнак снази у јединици времена. Јединице за рад су ват секунд $[Ws]$, или киловат час $[KWh]$.

3.8 Електрично поље

Свако наелектрисано тело око себе формира електрично поље којим делује на друга наелектрисана тела механичким силама. Електрично поље је простор у ком се осећа

дејство електричних сила и чине га електрична енергија одређене густине која је пропорционална квадрату интензитета поља. Електрично поље може бити хомогено, уколико је густина електричних сила у свим деловима поља иста, или хетерогено, уколико није. Електрично поље постоји око сваког наелектрисања, његов смер, односно смер линија тог поља у некој тачки, једнак је смеру силе на позитивно пробно наелектрисање у тој тачки:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Qp} \left[\frac{N}{C} \right] \quad (3.8.1)$$

где је \vec{E} електрично поље, \vec{F} Кулонова сила, а Qp пробно наелектрисање, односно позитивно наелектрисано тело, веома малих димензија и веома малог наелектрисања.

Интензитет електричног поља се може изразити и преко разлике потенцијала између два наелектрисана тела, наелектрисања $-Q$ и $+Q$, која стварају то електрично поље, а која се налазе на међусобној удаљености d .

$$E = \frac{U}{d} \left[\frac{V}{m} \right] \quad (3.8.2)$$

Интензитет електричног поља се добија као количник Кулонове силе која делује на позитивно наелектрисање постављено у ту тачку и количине тог наелектрисања:

$$E = \frac{F}{Q} \left[\frac{N}{C} \right] \quad (3.8.3)$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1}{\epsilon_r} \cdot \frac{Q}{r^2} \left[\frac{N}{C} \right] \quad (3.8.4)$$

3.9 Моделовање електричних система

Моделовање је процес упрошћавања система из реалног света усвајањем претпоставки којим се занемарују она својства система за која се сматра да нису битна у конкретном случају и у конкретном процесу моделовања. Циљ моделовања је упрошћавање ради једноставније примене математичких техника са сврхом анализе система из реалног света. Моделовање се најчешће реализује уз помоћ специфичних метода, алата и моделарских језика који подржавају довољно висок ниво апстракције и упрошћавања, а који омогућава довољно прецизно дефинисање система уз одговарајуће поједностављивање. Анализа електричних кола претпоставља да су основне карактеристике електричних кола концентрисане у појединачним блоковима, односно у појединачним електричним елементима, који су повезани проводницима у којима се не јавља електрична отпорност, док је учестаност нижа од микроталасне учестаности, односно док је нижа од $1GHz$.

3.10 Идеални електронски елементи

Идеални електронски елементи су потпуно описани математичким релацијама између напона на њима и струје која кроз њих протиче. Зависно до тога да ли предају енергију остатку кола, или примају енергију од остатка кола разликујемо: активне и пасивне електронске елементе.

3.10.1 Идеални пасивни електронски елементи

Пасивни електронски елементи су отпорници, калемаи и кондензатори, они у електричним колима не могу активно утицати на промену електричног напона, или електричне струје. Ту спадају:

- Отпорници у електричним колима имају задатак да се супротстављају проласку струје чиме стварају потенцијалне разлике у одређеним деловима електронских кола. Својство супротстављања проласку струје се назива електрична отпорност, основна јединица за електричну отпорност је ом $[\Omega]$, а симбол за електричну отпорност је R . Зависно од начина на који се мења отпорност отпорника разликујемо: непроменљиве, полупроменљиве (за фину регулацију електричног отпора), променљиве (потенциометри и реостати) и нелинеарне (фотоотпорници и тремистори).
- Кондензатори који имају способност да акумулирају извесну количине електричне енергије. То својство акумулације електричне енергије се назива електрични капацитет, основна јединица за електрични капацитет је фарад $[F]$, али се у пракси користе μF , nF и pF , а симбол за електричну капацитет је C .
- Калем (завојница) је проводник савијен у спиралу тако да се приликом проласка струје кроз њега, у његовом окружењу ствара магнетно поље. Уколико се промени јачина електричне струје, или се промени број завојака калема, мења се јачина магнетног поља, односно индуктивитет калема. Индуктивитет се изражава у јединици хенри $[H]$, али се у пракси употребљавају јединице mH и μH , док је симбол за индуктивитет L .

3.10.2 Идеални активни електронски елементи

Сви активни електронски елементи у основи имају PN спој. Полупроводници као што су силицијум и германијум су кристали веома лоше електричне проводљивости, али додавањем одговарајућих примеса, односно допирањем, добијају се жељена електрична својства. Зависно од примесе која се додаје, добијају се полупроводници N типа, или P типа. Полупроводници N типа се добијају када се полупроводнику додају петовалентне примесе, док се полупроводници P типа добијају додавањем тровалентних примеса. Носиоци наелектрисања су слободни електрони, а обзиром да PN спој чине два полупроводника допирана примесима од којих се једна понаша као донор електрона, односно елемент који даје слободне електроне, а друга као акцептор која, односно елемент који прихвата слободне електроне. Ово својство PN споја омогућава процес рекомбинације, што доводи до настанка парова покретних

носилаца наелектрисања и до могућности за усмерено кретање наелектрисаних честица кроз полупроводничке материјале. Овај принцип је у основи функционисања активних електронских компоненти јер захваљујући њему, оне се могу понашати у складу са условима у електричном колу и активно утицати на промену електричне струје, односно сигнала у електричном колу.

3.11 Идеални независни електрични извори

Идеални независни напонски извори су активни елементи који одржавају напон између приступа независно од јачине струје која кроз њега пролази. Вредност напона може бити константна, или променљива у времену зависно од функционалне повезаности висине напона и времена, на пример уколико је потребно створити електрични извор са предефинисаним осцилацијама напона, наизменични напон. Са друге стране, идеалан независни струјни извор је активни елемент који одржава струју између приступа независно од напона између приступа. Вредност струје, такође, може бити константна, или променљива у функционалној зависности од времена. За потребе моделовања, анализе, или доказивања, теоретски, струја би могла да буде бесконачно велика што би наводило на закључак да такав извор енергије може генерисати бесконачно велику снагу, што физички није могуће. Идеални модели компонената представљају само апроксимације реалних компонената под извесним условима.

3.12 Идеални зависни електрични извори

Зависни идеални електрични извори генеришу напон, или струју која зависи од неког другог напона, или струје у остатку кола. Овакви извори омогућавају моделовање електричних процеса, или одређених електронских елемената. Можемо направити класификацију која разликује четири типа зависних контролисаних извора у зависности од тога која величина контролише извор и која величина је контролисана на: напонски контролисане напонске изворе, струјно контролисање напонске изворе, напонски контролисане струне изворе и струјно контролисане струјне изворе.

4. Полупроводници

Полупроводници обухватају групу материјала који се, уколико посматрамо електричну проводност, налазе између проводника и диелектрика. Њихова специфична отпорност се креће у граници од $\rho = 10^3 \Omega m$ до $\rho = 10^{-2} \Omega m$ тако да они, уколико се налазе у свом изворном облику, не проводе електричну струју, међутим промена температуре, или притиска, излагање различитим видовима зрачења, или додавање одговарајућих примеса, од њих ствара проводнике. Најзаступљенији полупроводнички материјали су силицијум (*Si*), германијум (*Ge*), када су у питању хемијски елементи, или галијум арсенид (*GaAs*) и индијум фосфид (*InP*), када су у питању хемијска једињења. Зависно од карактеристика, њихова улога се може разликовати. Силицијум и германијум се обично третирају као полупроводници опште намене, док се галијум арсенид користи у производњи интегрисаних кола за микроталасне фреквенције, за инфрацрвене светлеће диоде, ласерске диоде, соларне ћелије и слично, односно тамо где су потребне карактеристике које су близу идеалних, док се индијум фосфид користи у електроници велике снаге, а обзиром на велику брзину одзива често се користи и у изради оптоелектронских уређаја.

4.1 Енергетски нивои атома

Атом се састоји од позитивно наелектрисаног језгра и негативно наелектрисаних електрона који круже око језгра. Електрони круже око језгра у својим орбитама и имају тачно одређене енергије које их одржавају у тим орбитама, а проводност материјала зависи од енергије којом располажу електрони у различитим орбитама, односно од енергија које одговарају дискретним енергетским нивоима, од електронске структуре и хемијских веза између атома. Метали имају делимично попуњене енергетске нивое непосредно уз потпуно попуњене нивое, што омогућава да електрони лако напусте атоме и да се слободно крећу кроз метал. Такви електрони се називају слободним електронима. Изолатори имају велику забрањену зону између попуњених и непопуњених енергетских нивоа, што захтева да електрони добију велику енергију како би прескочили забрањену зону. Полупроводници имају уску забрањену зону између попуњених и непопуњених енергетских нивоа, тако да уз релативно малу количину додатне енергије могу прескочити забрањену зону и постати покретни. Додатна енергија која је потребна може бити топлотна, електрична, хемијска, или светлосна, зависно од услова и потреба, што указује да на енергију електрона утичу услови окружења.



Слика 1 Енергетски нивои код метала, изолатора и полупроводника

Уколико посматрамо температуру окружења, полупроводници испољавају карактеристична понашања. При температури апсолутне нуле, електрони у валентној зони немају довољно енергије да пређу у проводну зону, међутим довођењем додатне енергије, топлотне енергије неки валентни електрони напуштају атоме и прелазе у проводну зону. Напуштајући атоме, електрони за собом остављају непопуњену везу, шупљину, која се може третирати као елементарно позитивно наелектрисање. Процес, при ком неки од електрона добијају довољно енергије услед које напуштају валентну зону након раскидања ковалентних веза и формирања парова електрона у проводној зони и шупљина у валентној зони, назива се генерација (производња) парова електрон – шупљина. Неки други електрон, који је такође напустио атом, сада може да попуни ову шупљину при томе остављајући ново упражњено место, односно нову шупљину. Процес попуњавања шупљина електронима назива се рекомбинација. Процеси рекомбинације и генерације условљавају кретање електрона и шупљина у супротним смеровима. Чисте полупроводничке материјале карактерише увек иста концентрација слободних електрона и шупљина која може бити тачно одређена за дате услове, а обзиром да је проводност чистих полупроводника веома мала, практични полупроводници се пројектују тако да се додавањем различитих примеса увек добије полупроводник пожељних карактеристика.

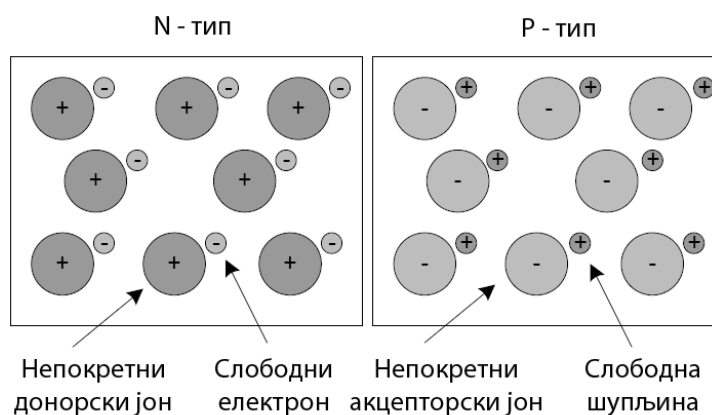
Повећање електричне проводности полупроводника се постиже хемијским, или механичким додавањем одговарајућих примеса, односно додавањем одређених „нечистоћа“ у полупроводнике високе чистоће. Појам нечистоћа потиче од чињенице да намена полупроводничких композита диктира прецизно одређивање жељене концентрације рекомбинованих електрона и шупљина, што подразумева контролисану чистоћу полупроводника који се контролисано допира неком примесом. Додавање примеса, чак и у веома малим концентрацијама, на пример $1:10^6$ доводи до знатног повећања електричне проводности. Чисти полупроводници, као што су германијум и силицијум су четворовалентни елементи, а примесе које се у њих додају могу бити петовалентне или тровалентне. Уколико се чистом четворовалентном полупроводнику дода неки петовалентни елемент, на пример антимон (*Sb*), арсен (*As*), или фосфор (*P*), или неко хемијско једињење као што је астатан (*HAt*), добијамо хемијско једињење, односно композицију која располаже довољно великим бројем електрона који уз релативно малу количину додатне енергије могу постати слободни. Овакви полупроводнички материјали у разним електронским технологијама се називају донорима, обзиром на карактеристике њиховог понашања, јер преовлађујући четворовалентни елемент гради са примесом ковалентне везе при чему се ствара вишак електрона из петовалентног елемента који су слабо везани, па самим тим стоје на располагању као носиоци наелектрисања кроз полупроводник. Слично, додавањем тровалентних елемената као што су бор (*B*), галијум (*Ga*), или индијум (*In*) добијају се полупроводнички материјали који настају формирањем ковалентних веза при којима остају непопуњене везе, које због разлике у наелектрисању теже да буду попуњене електроном из суседних атома и које због тога називамо акцепторима. Зависно од тога какве примесе додајемо, односно зависно од валенце примеса разликујемо полупроводнике *N* типа, уколико су у питању петовалентне примесе и полупроводнике *P* типа, уколико су примесе тровалентне.

4.2 PN спој

Уколико се направи блиски спој од полупроводничких материјала N типа и P типа, добија се PN спој, или диода. PN спој се најчешће формира тако што се један кристал од полупроводничког материјала допира различитим примесима тако да се са једне стране формира донорски део полупроводничког споја, а са друге акцепторски. Један PN спој чини диоду, док се овај спој, са различитим примесима па и карактеристикама, налази у основи свих активних електронских елемената.

4.2.1 Неполарисани PN спој

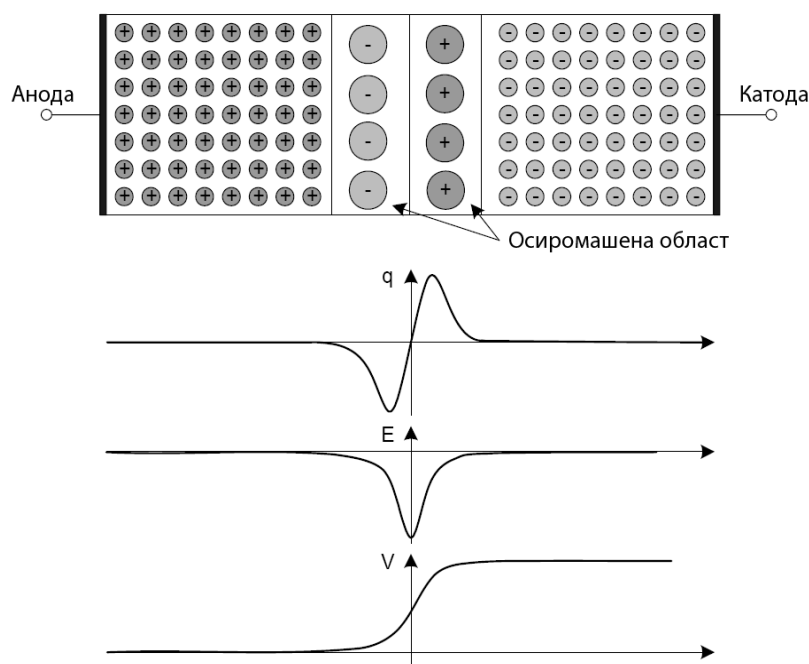
Уколико су полупроводници P типа и N типа физички одвојени, слободни електрони су равномерну распоређени по унутрашњости полупроводника N типа, док су слободне шупљине равномерно распоређене по унутрашњости полупроводника P типа.



Слика 2 Наелектрисање код допираних полупроводника

Уколико доведемо у непосредну везу два полупроводничка материјала, један P типа, а други N типа, формираћемо PN спој при чему ће доћи до реакције у узаном појасу близу физичког контакта споја ових материјала и до преласка слободних већинских носилаца преко споја у другу област и до њихове рекомбинације, што формира простор који карактерише равнотежа коју одржавају стабилни атоми, неутралног наелектрисања. Ова област се назива осиромашеном облашћу, или облашћу просторног товара јер у њој не постоје слободни носиоци наелектрисања. Она формира електрично поље које се супротставља даљем кретању носилаца преко споја, док се на споју појављује мала разлика потенцијалних енергија наелектрисаних честица која се назива потенцијална баријера. Зависно од врсте полупроводничког материјала и од материјала којим је полупроводнички кристал допиран, зависи висина потенцијалне баријере. На пример, код силицијума потенцијална баријера износи од $0,6V$ до $0,8V$, док је код германијума она доста нижа и износи $0,2V$. Кроз неполарисани PN спој протичу дифузионе струје већинских носилаца наелектрисања, електрона и шупљина, које потичу од различитих концентрација носилаца на обе стране PN споја и слабије струје које настају услед електричног поља које се формира у области споја, а које чине струја електрона и струја шупљина. Када PN спој није везан на неки спољни извор електричне енергије, укупна струја кроз њега је једнака нули, односно дифузионе

струје су уједначене услед дејства електричног поља.



Слика 3 Расподела наелектрисања, електрично поље и напон на неполарисаном PN споју

4.2.2 Директно поларисан PN спој

Уколико PN спој вежемо на спољни извор електричне енергије тако што позитивни пол вежемо на P област, а негативни на N област, долази до смањења потенцијалне баријере на споју, односно до сужења области просторног товара и до олакшаног кретања већинских носилаца наелектрисања преко споја. Већински носиоци из N области, електрони, дифузијом прелазе у P област, а већински носиоци из P области, шупљине, дифузијом прелазе у N област, где долази до њихове рекомбинације. Након што се затвори електрично коло са сталним извором електричне енергије, ствара се процес непрестане дифузије носилаца наелектрисања преко споја, односно појављује се електрична струја која протиче кроз PN спој. Поред већинских носилаца наелектрисања, мањински носиоци такође прелазе преко споја под дејством електричног поља, али је због њиховог малог броја њихово учешће у процесу преноса наелектрисања занемарљиво. Струје која настају услед електричног поља су супротног смера у односу на дифузионе струје и супротстављају се њиховом протицању, због разлике у смеру оне се називају инверзним струјама. За различите полупроводничке материјале њихов интензитет варира од 10^{-15} А, колико износи за силицијум до 10^{-6} А, колико износи за германијум.

4.2.3 Инверзно поларисан PN спој

Уколико PN спој повежемо на спољни извор електричне енергије тако да позитивни пол извора вежемо на N област, а негативни на P област, долази до процеса увећавања потенцијалне баријере на споју, односно до проширења области просторног товара и до отежаног кретања већинских носилаца наелектрисања преко споја. Електрична струја мањинских носилаца остаје непромењена и она представља

укупну електричну струју која тече кроз спој. Уколико разматрамо PN спој са идеалним карактеристикама, електрична струја инверзно поларисаног PN споја је једнака струји засићења, док се у пракси добијају веће вредности за струју инверзно поларисаног PN споја због електричних струја које се јављају због површинских несавршености кристала, нечистоћа, или напона поларизације, а које могу бити и милион пута веће од струје засићења. Уколико се на инверзно поларисани PN спој примени знатно виши напон, може доћи до формирања довољно интензивног електричног поља у области просторног товара и до појаве наглог повећања интензитета електричне струје. Таква појава се назива пробој, а напон потребан за пробој се назива напон пробоја. Зависно од висине напона, разликујемо Зенеров пробој уколико је нижи од $5V$, или лавински пробој, уколико је виши од $7V$, а уколико је у опсегу између ове две граничне вредности, тада има карактеристике механизма оба ова пробоја. Висина напона пробоја зависи од концентрације примеса у полупроводнику. Када је у питању Зенеров пробој, номинална висина напона пробоја има значајну практичну примену јер је његова вредност, услед наглих промена интензитета електричне струје остаје практично непроменљива, што омогућава да се зенер диоде користе у стабилизаторима напона, и напонским референтним изворима.

5. Наелектрисање

Још у периоду античке Грчке је било познато да се приликом трљања парчета ћилибара о комад тканине јавља електрицитет и да такав комад ћилибара, услед наелектрисања које се гомила на његовој површини, почиње да привлачи супротно наелектрисане објекте мале масе. Назив који данас користимо за електрицитет је потекао управо из грчке речи за ћилибар, електрон (грч. *ήλεκτρον*). Статично наелектрисање може настати и у природним условима, добра пример за то су муње које настају као резултат трења између ваздушних маса у одређеним временским условима. Статички електрицитет, односно наелектрисање представља једну од основних особина субатомских честица која одређује њихову интеракцију са другим наелектрисаним телима, или са електричним пољем. Физика разликује два типа наелектрисања, позитивно и негативно, што се једноставно може доказати. Уколико производимо трење трљајући разне врсте материјала једне са другима, за дату комбинацију материјала увек ћемо добити два супротна наелектрисања која ће се увек везати за исте материјале, а што се може једноставно испитати упоређивањем са другим комбинацијама материјала. Уколико стакло протрљамо свиленом тканином, стакло ће се наелектрисати позитивно, а свила негативно, уколико протрљамо стаклену површину парчетом папира, догодиће се сличан сценарио, стакло ће се наелектрисати позитивно, док ће папир бити негативно наелектрисан, уколико стакло протрљано свиленом тканином приближимо парчету папира, приметимо да оно привлачи тај папир који је, као и свила, негативно наелектрисан. Обзиром да су наелектрисани разноимени наелектрисањима, стакло и свила, односно стакло и папир се привлаче, са друге стране, два наелектрисана парчета стакла ће се одбијати, што важи и за свилену тканину и папир.

5.1 Наелектрисање електрона и протона

Сва позната материја се састоји од атома који у себи имају релативно уравнотежену количину позитивног и негативног наелектрисања. Атом чини језгро које позитивно наелектрисано, око кога круже негативно наелектрисани електрони. Језгро атома чине протони који су позитивно наелектрисани и неутрони који не располажу наелектрисањем. Поред електрона и протона постоје и друге честице које могу бити носиоци наелектрисања. Њихово присуство се може регистровати у космичким зрачењима и нуклеарним распадима, такође могу се креирати у акцелераторима честица, међутим, за разлику од електрона и протона, ове честице су нестабилне и обично се, након релативно кратког временског периода, распадају на неке друге честице. Када су у питању наелектрисања субатомских честица, протона и електрона, она су једнака по интензитету, али су супротног знака. Ова наелектрисања се сматрају елементарним, што указује на чињеницу да су недељива, тако да се свака количина наелектрисања може приказати као умножак интензитета елементарног наелектрисања. Вредност елементарног наелектрисања је:

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} [C] \quad (5.1.1)$$

Количина наелектрисања се обично обележава симболом Q , док је јединица за количину наелектрисања кулон $[C]$. Интензитет наелектрисања од једног кулона је значајно већи од интензитета елементарног наелектрисања, а обзиром да је количина

наелектрисања једнака производу интензитета елементарног наелектрисања и броја наелектрисаних честица:

$$q = n \cdot e \quad (5.1.2)$$

Интензитет наелектрисања од једног кулона износи:

$$1C = \frac{1}{e} \quad (5.1.3)$$

$$1C = \frac{1}{1,602 \cdot 10^{-19}} \quad (5.1.4)$$

$$1C = 6,242 \cdot 10^{18} \quad (5.1.5)$$

елементарних наелектрисања.

5.2 Раздвајање наелектрисања у атомима

Наелектрисања која се налазе у релативно равнотежном односу у атомима, односно молекулима, могу да се раздвоје уколико на њих делујемо неком додатном енергијом, на пример трењем, односно топлотном енергијом што је уобичајен сценарио када желимо да наелектришемо неки предмет, или хемијском енергијом као код батерија, где се користи комбинација хемијских супстанци које међусобно реагују тако да раздвајају наелектрисања. Хемијске реакције доводе до одвајања негативних наелектрисања на један крај батерије, што условљава појаву позитивних наелектрисања на другом крају батерије, при чему се стварају негативни и позитивни крај који располажу извесним количинама потенцијалних енергија. Независно од узрока који доводи до раздвајања наелектрисања, односно до концентрације наелектрисаних честица, у том процесу се не стварају нова наелектрисања, нити се уништавају постојећа, самим тим и укупно наелектрисање остаје непромењено. Због овога у природи влада универзални закон по ком је укупна количина наелектрисања једног затвореног система у свим процесима константна. Посебни услови који владају у акцелераторима честица могу да трансформишу масу у енергију, међутим и тај процес подразумева да се за сваку креирану честицу креира још једна са наелектрисањем истог интензитета, али супротног знака, тако да и овде важи Закон одржања наелектрисања.

5.3 Наелектрисавање тела

Наелектрисавање тела можемо извести на разне начине, трљањем различитих материјала, односно трењем које настаје услед тог трљања, додиром са наелектрисаним телом, приближавањем, или удаљавањем наелектрисаног тела, излагањем различитим видовима зрачења, индукцијом и слично, чиме, улажући додатну енергију, вештачки нарушавамо однос између протона и електрона тако да долази до поларизације наелектрисања. Различити материјали, различито реагују приликом деловања на њих, на пример, материјали који су добри проводници електричне енергије располажу великом количином слободних носилаца наелектрисања, електрона и позитивних и негативних јона, што условљава тренутно

размештање наелектрисања по целој површини тела. Електрични изолатори су материјали у којима се носиоци наелектрисања не могу слободно кретати, па приликом наелектрисавања, наелектрисање остаје на истом месту и ту се концентрише. Близина наелектрисаног тела неком електричном изолатору утиче на електрично неутралне молекуле и доводи до раздвајања центара позитивног и негативног наелектрисања и до њихове оријентације зависно од смера наелектрисања. Молекули електричног изолатора постају електрични диполи услед деловања спољашњег извора наелектрисања који узрокује поларизацију тог диелектрика. Приликом контакта диелектрика са позитивно наелектрисаним телом, у диелектрику се појављују електрични диполи и долази до њихове оријентације, а у контакту са негативно наелектрисаним телом, долази до преласка електрона са тог тела на диелектрик, а обзиром да диелектрици не располажу довољно великим бројем носилаца наелектрисања, електрони који пређу задржавају се у том подручју и концентришу.

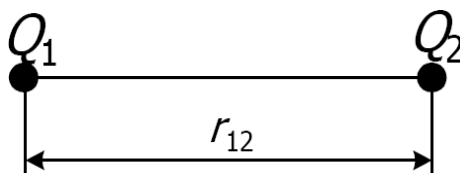
Уколико наелектрисано тело принесемо, довољно близу, неког другог тела изазваћемо прераспodelу наелектрисања у њему тако да ће се негативна наелектрисања нагомилати на једном крају, а позитивна на другом. Уколико наставимо да приближавамо наелектрисано тело, поларизација ће бити додатно изражена све до тренутка када наелектрисаним телом дотакнемо друго тело, при чему ће доћи до преласка наелектрисаних честица са тела на тело и до неутралисања створеног наелектрисања. Пре него што су се тела додирнула, постојала је неравнотежа између површинских наелектрисања, што је условљавало појаву привлачних, односно одбојних сила између њих. Ова неравнотежа доводи до нагомилавања наелектрисања, односно до појаве статичког електрицитета. Поред тога, тела се могу наелектрисати и електростатичком индукцијом, односно приближавањем наелектрисаног тела телу које није наелектрисано, приликом чега долази до раздвајања позитивног и негативног наелектрисања у телу које није наелектрисано. Тело у ком би дошло до поларизације наелектрисања би тежило да се врати у стање равнотеже, што би се догодило уколико би из његове близине уклонили наелектрисано тело, међутим, уколико то тело повежемо са телом довољно великим да из њега одведемо наелектрисање, а након тога ту везу раздвојимо и уклонимо извор наелектрисања, остаће нам наелектрисано тело.

6. Кулонов закон

Француски физичар Шарл Огистен де Кулон (франц. *Charles Augustin de Coulomb*, 1736. – 1806. године) остао је познат по великом доприносу електростатици, електротехници, физици и науци уопште, а највеће признање је добио за научна истраживања електростатичких сила. Научници са почетка XVIII века, који су се бавили сличним истраживањима, су претпостављали да је електрична сила, попут гравитационе и да се смањује са повећањем растојања између наелектрисаних тела, што су доказивали мерећи силу између плоча кондензатора. Енглески хемичар, писац и политичар, Џозеф Пристли (енгл. *Joseph Priestley*, 1733. – 1804. године) је експериментисао на наелектрисаним сферама које је периодично излагао електричном пољу при чему је претпоставио да сила између два пуњења варира и да је обрнуто пропорционална квадрату растојања између тих сфера. Крајем XVIII века се са сигурношћу знало да сила између наелектрисаних тела зависи од јачине електричног поља ком се излажу и њиховог међусобног растојања, међутим то нико није објавио, бар не у облику научног рада. Коначно, 1785. године Шарл Огистен де Кулон је објавио три извештаја о електрицитету и магнетизму где је приви пут известио научну јавност о резултатима свог рада. Приликом истраживања користио је торзиону вагу за мерење малих одбојних и привлачних сила наелектрисаних честица при чему је успео да их испита и да докаже њихова својства.

Кулонов закон дефинише међусобно деловање наелектрисаних тела занемарљиво малих димензија у односу на њихово међусобно растојање које се због тога називају тачкастим наелектрисицама. Тачкаста наелектрисица располажу одређеним количинама електричног оптерећења и у теоријском смислу, немају димензије, односно претпоставља се да су то позитивно, или негативно наелектрисане честице чија је величина занемарљиво мала у односу на растојање између њих. Интензитет електростатичке силе која се јавља између тачкастих наелектрисица, односно интензитет Кулонове силе којом наелектрисица Q_1 делује на наелектрисица Q_2 , директно је сразмеран производу интензитета њихових наелектрисица, а обрнуто сразмеран квадрату растојања између њих r . Интензитет Кулонове силе зависи и од средине у којој се налазе наелектрисана тела, односно од електричне отпорности средине чији утицај дефинише електричне константа k_0 .

$$\vec{F}_{12} = k_0 \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r_{12}^2} \cdot \vec{r}_{12} [N] \quad (6.1.1)$$



Слика 4 Тачкаста наелектрисица

Вредност Кулонове силе зависи од електричне константе која је утврђена мерењем, а која за вакуум:

$$k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \left[\frac{Nm^2}{C^2} \right] \quad (6.1.2)$$

На основу вредности електростатичке константе k_0 може се израчунати вредност електричне пермитивности вакуума.

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi k_0} = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9 \left[\frac{Nm^2}{C^2} \right]} = \frac{10^{-9}}{36\pi} \left[\frac{C^2}{Nm^2} \right] = 8,85 \cdot 10^{-12} \left[\frac{C^2}{Nm^2} \right] \quad (6.1.3)$$

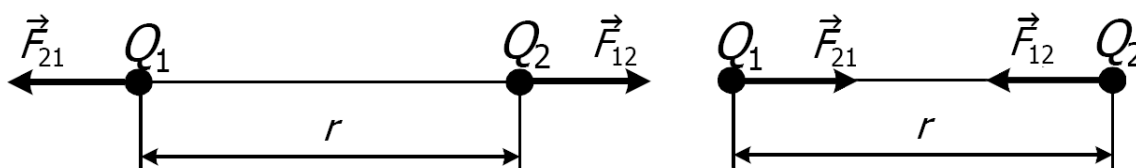
Електрична константа k_0 дефинише утицај средине под претпоставком Кулонова сила делује између наелектрисања која се налазе у вакууму који има одређену специфичну електричну отпорност, међутим уколико посматрамо електростатичко поље у некој другој средини онда узимамо у обзир релативну диелектричну пермитивност ε_r , која представља умножак који одређује утицај поменуте средине на интензитет силе у односу на вакуум. Релативна диелектрина пермитивност је бездимензиона величина. Диелектрична пермитивност ε је једнака производу диелектричне константе вакуума ε_0 и релативне диелектричне пермитивности ε_r , која је специфична за сваку средину.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \left[\frac{C^2}{Nm^2} \right] \quad (6.1.4)$$

Табела 1 Релативна пермитивност различитих средина

Средина	Релативна пермитивност – ε_0
Вакум	1
Ваздух	1,0006
Трансформаторско уље	2,2 – 2,5
Гума	3,0 – 6,0
Стакло	4,0 – 17,0
Дрво	1 – 7
Папир	2,5 – 4
Електротехнички порцелан	5,5 – 6,0
Алкохол	28,4
Лед	16
Вода	80

Кулонова сила је векторска величина, а вектор који је дефинише има правац праве која пролази кроз оба тачкаста наелектрисања и смер који зависи од интензитета силе, односно од смера наелектрисања која је стварају. Кулонова сила формира смер и правац зависно од наелектрисања Q_1 и Q_2 . Уколико су наелектрисања истог знака, оба позитивна, или оба негативна ($Q_1 > 0 \wedge Q_2 > 0 \vee Q_1 < 0 \wedge Q_2 < 0$) сила између наелектрисања је одбојна, а уколико су различита ($Q_1 < 0 \wedge Q_2 > 0 \vee Q_1 > 0 \wedge Q_2 < 0$) сила је привлачна. Интензитети сила \vec{F}_{12} и \vec{F}_{21} увек су једнаки.



Слика 5 Правац и смер силе истоимених и разноимених наелектрисања

Правец и смер Кулонове силе можемо дефинисати јединичним вектором \vec{r}_0 који ће имати интензитет једнако 1 и правац подударан са правом која спаја наелектрисања, односно правом која их садржи.

$$\vec{F} = F \cdot \vec{r}_0 [N] \quad (6.1.5)$$

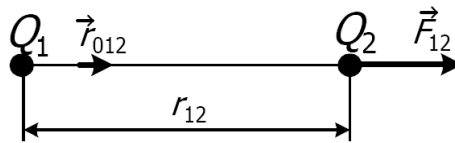
Смер који дефинише јединични вектор зависи од смера наелектрисања, па можемо записати \vec{r}_{012} , уколико је смер од наелектрисања $Q1$ ка наелектрисању $Q2$, односно \vec{r}_{021} , уколико је смер од наелектрисања $Q2$ ка наелектрисању $Q1$.

$$\vec{F}_{12} = |F| \cdot \vec{r}_{012} \quad (6.1.6)$$

односно

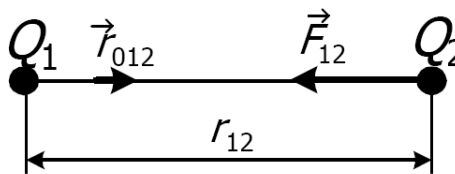
$$\vec{F}_{21} = |F| \cdot \vec{r}_{021} \quad (6.1.7)$$

Уколико је смер силе од тачкастог наелектрисања $Q1$ ка $Q2$, дефинишемо га јединичним вектором \vec{r}_{012} , уколико су оба наелектрисања позитивна, $Q1 > 0$ и $Q2 > 0$, онда је сила \vec{F}_{12} одбојна. То значи да наелектрисање $Q1$ делује на $Q2$ и гура га од себе. Нападна тачка силе је у тачки у којој се налази наелектрисање $Q2$.



Слика 6 Смер силе за јединични вектор који дефинише смер од $Q1$ ка $Q2$ и два позитивна наелектрисања

Уколико је наелектрисање $Q1$ позитивно, а наелектрисање $Q2$ негативно, $Q1 > 0$ и $Q2 < 0$, онда је сила \vec{F}_{12} привлачна, што значи да наелектрисање $Q1$ делује на $Q2$ и привлачи га ка себи.

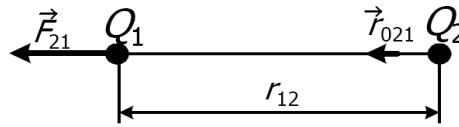


Слика 7 Смер силе за јединични вектор који дефинише смер од $Q1$ ка $Q2$ и наелектрисања различитог знака

Уколико је смер силе од тачкастог наелектрисања $Q2$ ка наелектрисању $Q1$, смер силе можемо дефинисати јединичним вектором \vec{r}_{021} , при чему је сила \vec{F}_{21} истог интензитета, али супротног смера од силе \vec{F}_{12} уколико су интензитети тачкастих наелектрисања једанки:

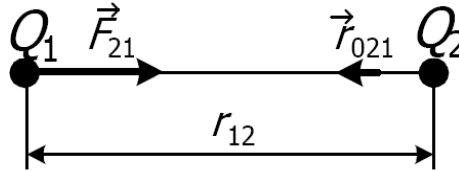
$$\vec{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r_{12}^2} \cdot \vec{r}_{021} [N] \quad (6.1.8)$$

Ако су оба наелектрисања позитивна, $Q1 > 0$ и $Q2 > 0$, онда је сила \vec{F}_{21} одбојна, што значи да $Q2$ делује на $Q1$ тако што га гура од себе. Нападна тачка силе је у тачки у којој се налази наелектрисање $Q1$.



Слика 8 Смер силе за јединични вектор који дефинише смер од Q2 ка Q1 и наелектрисања истог знака

Уколико су наелектрисања различитог знака, на пример $Q1 > 0$ и $Q2 < 0$, онда је сила \vec{F}_{21} привлачна, односно Q2 привлачи Q1.



Слика 9 Смер силе за јединични вектор који дефинише смер од Q2 ка Q1 и наелектрисања различитог знака

Све вредности у физици се изражавају помоћу основних, помоћних и изведених јединица Међународног система јединица. Сила се изражава у њутнима $[N]$, наелектрисање у кулонима $[C]$, удаљеност у метрима $[m]$ и слично. Кулонова сила изражена помоћу изведених јединица Међународног система јединица:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 \left[\frac{C^2}{Nm^2} \right]} \cdot \frac{1}{\epsilon_r} \cdot \frac{Q_1[C] \cdot Q_2[C]}{(r[m])^2} \quad (6.1.9)$$

$$[F] = \frac{1}{\frac{C^2}{Nm^2}} \cdot \frac{C^2}{m^2} = \frac{Nm^{\cancel{2}}}{\cancel{C^2}} \cdot \frac{C^{\cancel{2}}}{m^{\cancel{2}}} = N \quad (6.1.10)$$

Уколико желимо да силу изразимо уз помоћ основних јединица Међународног система јединица, то можемо урадити уколико силу прикажемо у односу на Други Њутнов закон:

$$a = \frac{F}{m} = \left[\frac{N}{kg} \right] \quad (6.1.11)$$

$$F = m \cdot a = m \cdot \frac{v}{t} = \left[kg \cdot \frac{\frac{m}{s}}{s} \right] \quad (6.1.12)$$

$$kg \frac{\frac{m}{s}}{s} = kg \frac{m}{s^2} = kgms^{-2} \quad (6.1.13)$$

Док је димензија Кулонове силе:

$$\dim N = \dim m \cdot \frac{\dim v}{\dim t} = M \cdot \frac{\frac{L}{T}}{T} = M \cdot \frac{L}{T^2} = MLT^{-2} \quad (6.1.14)$$

7. Заључак

Електроника настоји да систематизује тачне и доследне информације о природи електричних појава у скуп закона, који се непрестано развија и расте кроз бројне прорачуне, експерименте и практичне имплементације. Баш као што је човек еволуирао кроз трансформацију биолошких карактеристика, наше схватање појава еволуира обзиром да боље схватамо информације на које наилазимо, првенствено због знања којим располажемо и која су предочена у прецизним законима електричне природе. Обзиром да поседујемо та знања, ми непрестано истражујемо њихово значење како би смо дефинисали електричне појаве и како би смо знали шта је могуће, а шта није. Тежимо доследности, а ако немамо сазнања о неким појавама, ми настојимо да пронађемо објашњења која се уклапају у наш опис стварности и тако генеришемо стварност која објашњава те појаве. Ми покушавамо да попунимо празнине у нашем знању и у нашем схватању природе, у томе смо доследни и живимо у друштву у ком се одаје признање сваком новом проналаску, свакој новој дефиницији, или објашњењу. Људи су мотивисани да буду бољи од својих претходника и да понуде човечанству одговоре на она питања која стрпљиво чекају на то, људи желе да учине живот бољим, и да направе бољи свет за све нас. Сви ћемо се сложити да Свет никада у својој историји није био овако добар, животни век је најдужи од када је човека, здравље људи је на највишем нивоу у историји, брига о онима који нису у могућности да брину о себи је институционализована и у најнеразвијенијим деловима Планете, техничко технолошки развој је најбржи од свог почетка, а скоро свим становницама Планете је омогућено да се образују и да буду информисани.

Живимо у ери информационих технологија, коју је највећим делом омогућио развој електронике, окружени смо небројеним техничким и технолошким направама које нам због своје софистицираности омогућавају једноставан живот. Нашли смо начин да смањимо цену електронских компоненти, док истовремено повећавамо број транзистора у чиповима све мањих димензија, нашли смо начине да смањимо потрошњу електричне енергије компоненти, уз исте и боље карактеристике и исти и бољи учинак, непрестано развијамо нове технологије, нове полупроводничке материјале, пластичне транзисторе, комбинујемо органске материје у електронским склоповима, развијамо технологије толико минијатурне, да ћемо се ускоро приближити молекуларном нивоу. Свет се променио. Пре неколико година је почела наменска производња квантних компјутера за свакога ко је довољно имућан да их приушти. Данас се са сигурношћу зна да неколико светских корпорација поседује свој квантни компјутер, што наводи на закључак да светске безбедносне агенције, одавно поседују слична решења и да су интима и тајност података грађана само речи које ће временом постати опште место. Чињеница је да смо прешли велики пут од открића електрицитета, а чињеница је и да техничко технолошки развој има свој смер и темпо, независно од правих потреба људи и независно од онога што је стварно добро за људе. Сви смо слободни да изаберемо, да одлучимо, али сви смо условљени да развијамо сопствене вештине и знања тако да буду у складу са актуелним технолошким новинама. Чињеница је и да ће проћи још пуно времена док се људи не окрену стварним потребама и док не преузму контролу над техничким и технолошким развојем.

Литература

- [1] Др Одацић Б., др Сајферт В., Керлета В., **ЗБИРКА ЗАДАТАКА ИЗ ЕЛЕКТРОТЕХНИКЕ СА ЕЛЕКТРОНИКОМ**, Универзитет у Новом Саду, Технички факултет „Михајло Пупин“, Зрењанин, друго неизмењено издање, Зрењанин 2009. године.
- [2] Др Дрндаревић В., **Увод у електронику – скрипта**, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, Београд.
- [3] Др Поповић М., **ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНИКЕ**, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, Београд, 2006. године.
- [4] **Платон**,
<https://sr.wikipedia.org/sr/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BD>
- [5] **Талес из Милета**,
https://sr.wikipedia.org/sr/%D0%A2%D0%B0%D0%BB%D0%B5%D1%81_%D0%B8%D0%B7_%D0%9C%D0%B8%D0%BB%D0%B5%D1%82%D0%B0
- [6] **Шарл Огистен де Кулон**,
https://sr.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%B0%D1%80%D0%BB-%D0%9E%D0%B3%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BD_%D0%B4%D0%B5_%D0%9A%D1%83%D0%BB%D0%BE%D0%BD

Списак слика

Слика 1 Енергетски нивои код метала, изолатора и полупроводника	12
Слика 2 Наелектрисање код допираних полупроводника	14
Слика 3 Расподела наелектрисања, електрично поље и напон на неполарисаном PN споју	15
Слика 4 Тачкаста наелектрисања	20
Слика 5 Правац и смер силе истоимених и разноимених наелектрисања	21
Слика 6 Смер силе за јединични вектор који дефинише смер од Q1 ка Q2 и два позитивна наелектрисања	22
Слика 7 Смер силе за јединични вектор који дефинише смер од Q1 ка Q2 и наелектрисања различитог знака	22
Слика 8 Смер силе за јединични вектор који дефинише смер од Q2 ка Q1 и наелектрисања истог знака	23
Слика 9 Смер силе за јединични вектор који дефинише смер од Q2 ка Q1 и наелектрисања различитог знака	23

Списак табела

Табела 1 Релативна пермитивност различитих средина.....	21
---	----