

Развој електротехнике

Лозница, 2016.

САДРЖАЈ

1. Увод	1
2. Електротехника – појам и подела	2
3. Електротехника – основни појмови	4
3.1 Наелектрисање	4
3.2 Сила између два тачкаста наелектрисања.....	4
3.3 Електротехнички материјали	5
3.4 Електрична струја.....	6
3.5 Електрични напон.....	6
3.6 Референтни смерови и поларитет	6
3.7 Енергија и снага	7
3.8 Електрично поље	7
3.9 Моделовање електричних система	8
3.10 Идеални електронски елементи	8
3.10.1 Идеални пасивни електронски елементи	8
3.10.2 Идеални активни електронски елементи.....	9
3.11 Идеални независни електрични извори.....	11
3.12 Идеални зависни електрични извори.....	11
4. Електротехника – развој	12
4.1 Откриће електрицитета	12
4.2 Прва употреба речи електрон.....	13
4.3 Први громобран	14
4.4 Кулонов закон – основни закон електростатике	16
4.5 Амперов закон – основни закон електродинимике	19
4.6 Омов закон – анализа електричних кола.....	22
4.7 Фарадејев закон – закон електромагнетне индукције.....	24
4.8 Цулов закон – трансформација енергије	25
4.9 Кирхофова правила – анализа сложених електричних кола	27
4.10 Никола Тесла – асинхрони мотор	29

4.11 Михајло Пупин – сигнали без изобличења.....	32
5. Појава електронике.....	34
5.1 Први електронски компјутери.....	36
5.2 Откриће транзистора.....	37
6. Појава дигиталних технологија.....	38
6.1 Интегрисана кола.....	38
6.2 Кућни компјутери.....	38
7. Закључак.....	40
Литература.....	41
Списак слика.....	43
Списак табела.....	43

1. Увод

Велики грчки мислилац Платон (грч. Πλάτων, 427 – 347. године п. н. е.) је сматрао да је математика кључ разумевања свих ствари. Ношен својим идејама и жељом за учењем и откривањем, Платон је, претпоставља се 387. године п. н. е., у Атини основао школску установу која је тада названа „Академија“ (грч. Ἀκαδημία), а која је касније постала чувена као Платонова Академија. Тадашње схватање математике је произлазило из потребе да се обаве прорачуни у трговини, да се врше мерења земљишта и да се предвиђају астрономски догађаји, што се у основи сводило на геометрију па и не чуди што јој је посвећивана тако велика пажња. На улазу у Платонову Академију био је истакнут натпис: „Ко не зна геометрију, нека не улази унутра“. Тада је геометрија, поред музике и спорта, представљала једну од три врховне физичке, интелектуалне и духовне вредности. Значају геометрије је посебно доприносила њена универзалности и разумљивост, јер је њен интернационални дух превазилазио све културолошке баријере што је утицало да је људи доживљавају и схватају као универзалну истину. Данас, две и по хиљаде година касније, ствари су у великој мери сличне, са том разликом што је данас у фокусу појам „информација“, на место некадашњег појма „геометрија“.

Независно од тога да ли се бавимо, научним радом, неким занатом, уметношћу, спортом, постављамо себи исто питање: Да ли је Свет који нас окружује скуп насумичних правила која су међусобно повезана, или постоји заједнички принцип који повезује све и из ког све проистиче? Од настанка цивилизације, радознали људи су покушавали да схвате природу једног таквог принципа. Схватили су да трљањем камена о камен, или дрвета о дрво, могу да створе ватру, повезали су пад јабуке са орбитама планета и успели да одлете на Месец, повезали су разумевање молекула и инжењеринг и успели да продуже људски век и да побољшају квалитет људског живота, развојем комуникационо информационон технологија успели су да направе глобално тржиште производа и услуга. Човечанство сваким тренем све више напредује и нема сумње у сопствену доминантну улогу на Платети, међутим, да ли ће икада моћи да одговори на најфундаменталније питање: Шта је принцип који све обједињује? Да ли човечанство свесно себе обмањује и због чега су људи тако самоуверени када схватају да само мали број теорија описује природне процесе доследно и у потпуности.

2. Електротехника – појам и подела

Све техничке науке се 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 појаве. 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 учесталашћу, 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 количина 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 $[C]$. Електрично оптерећење једног електрона је $Q = -1,602 \cdot 10^{-19} [C]$.

3.2 Сила између два тачкаста наелектрисања

Тачкасто наелектрисање је пар позитивно и негативно наелектрисаних тела чије су димензије занемарљиве у односу на растојање између њих. Ово наелектрисање је одређено интензитетом, правцем и смером електростатичке силе којом непокретна наелектрисана тела делују међусобно једно на друго. 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, размака између њих и врсте електричног изолатора између њих, односно диелектрика. Ова сила се назива Кулонова сила, а њу описује релација по којој је интензитет Кулонове силе директно пропорционалан производу количина наелектрисања тела, а обрнуто пропорционалан квадрату растојања између тих тела.

$$F = k_0 \cdot \frac{1}{\varepsilon_r} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} [N] \quad (3.2.1)$$

$$k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{Nm^2}{C^2} \right] \quad (3.2.2)$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \quad (3.2.3)$$

$$\epsilon_0 \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \left[\frac{C^2}{Nm^2} \right] \quad (3.2.4)$$

где је k_0 константа пропорционалности, или Кулонова константа чија вредност је одређена специфичном електричном отпорношћу вакуума ϵ_0 , док је ϵ_r релативна електрична отпорност средине у којој се налазе наелектрисања, а Q_1 и Q_2 наелектрисања, изражена у кулонима, која се налазе на удаљености r , израженој у метрима. Диелектрична константа ϵ је однос између густине и јачине електричног поља, а изражава се као производ релативне диелектричне константе ϵ_r која зависи од посматране средине и диелектричне константе вакуума ϵ_0 . Диелектрична константа указује колико електрично поље утиче на средину у којој се налази, односно колико средина утиче на електрично поље, јер сама средина има могућност поларизације под утицајем електричног поља чиме утиче на јачину електричног поља, а често и сама остане поларизирана и након престанка утицаја електричног поља.

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 протицала 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, калери 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 при томе постајући позитивно наелектрисани јон, а друга као акцептор која, обзиром да лако захвата четврти електрон полупроводника ствара слободне шупљине, при томе постајући негативно наелектрисани јон. Ово својство PN споја омогућава процес рекомбинације, односно процес неутрализације шупљине електроном где слободни електрони заузимају празна места у ковалентним везама (шупљинама) што доводи до настанка парова покретних носилаца јер се електрони везују а шупљине попуњавају.

Процес рекомбинације доводи до појаве струје, односно до усмереног кретања наелектрисаних честица које настаје услед неравномерне концентрације слободних носилаца наелектрисања на крајевима полупроводничког елемента и тенденције да се концентрација изједначи где се честице крећу од места веће, ка месту мање концентрације. Појава електричног поља у полупроводничком елементу условљава позитивно наелектрисане шупљине да се крећу ка негативно наелектрисаном крају, односно у смеру електричног поља, док слободне електроне привлачи позитивно наелектрисани крај, повлачећи их у смеру супротном од смера електричног поља. Простор који се налази на граници додира између P и N подручја, област просторног товара, је карактеристичан по томе што се у њему налазе некомпензовани негативно наелектрисани јони акцептора и позитивно наелектрисани јони донора што нарушава електричну неутралност јер у њему нема слободних електрона и шупљина, па ни носилаца наелектрисања. Електрично поље је усмерено од N подручја ка P подручју, односно од слоја са негативним ка слоју са позитивним наелектрисањем,

али након повезивања на страну електрично поље, носиоци наелектрисања пролазе кроз спој. PN спој, може бити директно поларисан, уколико је P област повезана на позитивни крај напајања, а N област на негативан, или инверзно поларисан, уколико је обрнуто.

Приликом директне поларизације, уколико струја достиже 1% од номиналне вредности долази до појаве напона довољно високог да се премости праг превођења, након чега долази до појаве лавинског ефекта где се електрони нагло убрзавају при чему располажу са довољном количином кинетичке енергије да у сударима долази до лавинског избијања нових електрона и удвостручивању броја слободних носилаца наелектрисања при сваком судару. Приликом инверзне поларизације, уколико желимо да у одређеним околностима дође до протицања електричне струје, потребна је већа концентрација примесе, како би напон превођења био оптималан зависно од намене и од реализације PN споја. Појава протицања струје кроз инверзно поларисан PN спој се назива Ценеров пробој, а карактерише га висок инверзни напон који у полупроводнику ствара јако електрично поље које, услед свог интензитета, извлачи велики број електрона и потискује их супротно од смера електричног поља. Ово усмерено кретање електрона чини струју пробоја, а количина допираних примеса утиче на висину пробојног напона.

Активни електронски елементи омогућавају контролисање смера и јачине електричне струје у електронским колима, а основни активни електронски елементи су диоде и транзистори.

- Диода је електронска компонента која са два полупроводничка слоја, P слој и N слој, што након излагања електричном пољу доводи до концентрације електрона у N слоју много већег него у P слоју и до појаве дифузионог кретања електрона и шупљина услед тенденције да се изједначи концентрација шупљина и електрона у свим деловима полупроводничке структуре. Електрони почињу да се крећу од места веће, ка месту мање концентрације, од N слоја, ка P слоју, док се шупљине крећу од P слоја, ка N слоју. Приликом кретања долази до рекомбинације, односно до попуњавања шупљина електронима, што условљава појаву електричног поља које има смер од позитивног ка негативном крају споја, што се противи даљем кретању електрона кроз спој. Када интензитет електричног поља довољно порасте, престаје дифузионо кретање и долази до формирања просторног товара унутар PN споја, односно до успостављања услова у којима носиоци наелектрисања могу да превазиђу потенцијалну баријеру, што без утицаја страног електричног поља није могуће.
- Транзистор се састоји до два PN споја, код којих је један слој заједнички за оба споја и који се назива база. Зависно од тога какав је заједнички слој разликујемо NPN и PNP транзисторе. Области са једне и друге стране базе, иако су од истог типа полупроводника нису идентичне јер је увек једна страна јаче допирана одговарајућим примесима. Слој јаче допираног полупроводника назива се емитор, а слој слабије допираног полупроводника колектор. Код PNP транзистора у активном режиму спој база – емитор је директно поларисан, док је спој база – колектор инверзно поларисан. Главни носиоци наелектрисања у емитору, електрони, несметано пролазе потенцијалну баријеру споја емитор – база и прелазе у

област базе. Број слободних електрона у емитору је релативно велики у односу на број шупљина због велике допираности полупроводника у том слоју. База полупроводник P типа, који располаже вишком шупљина је направљена тако да има веома малу ширину тако да релативно мали број електрона успе да се рекомбинује са шупљинама што условљава да велики број електрона дифузионим кретањем доспева до споја база – колектор који је инверзно поларисан, односно чији је смер електричног поља супротан смеру кретања електрона. Такво електрично поље условљава да се електрони убрзано крећу из базе ка колектору. услови утичу на убрзано кретање електрона који се прослеђују колектору. Уколико се транзистор повеже као спор са заједничким емитором, релативно низак напон доведен на спој емитер – база утичу да се струја која тече кроз коло база – емитор буде много слабија од струје која тече кроз коло колектор – емитор што на крајевима колектора и емитера доводи до значајног повећања напона што утиче да се транзистор понаша као појачивач. Зависно од конструкције и улоге, транзистори се могу користити за појачавање електричних сигнала, за модулацију сигнала, стабилизацију напона, или за прекидање сигнала у електронским колима.

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 контролисане напонске изворе, напонски контролисане струне изворе и струјно контролисане струјне изворе.

4. Електротехника – развој

Научни закони морају да имају своју аргументацију у природи, они морају да буду проверљиви и морају да описују неке од општих појава или њихове односе, они морају да произилазе из природе и увек морају да функционишу на исти начин. Наука инсистира на томе да не постоји случајност, већ да се природне појаве периодично или редовно понављају. Научници објашњавају принципе по којима функционишу системи које испитују и на основу тога дефинишу појаве, процесе, или одређена својства. Сви се трудимо да откријемо суштину извора основног принципа из ког проистичу сви остали, међутим својим резултатима успевамо тек да дамо наговештај неког универзалног закона природе. Познато да материја може променити свој облик, односно своје агрегатно стање, али да не може нестати, нити настати ни из чега, такође познато је и да се енергија не може уништити, нити, ни из чега створити. Познато је да се материја и енергија могу претварати једна у другу, међутим још увек није откривен начин за трансформацију енергије, или материје без губитака, још увек нисмо пронашли начин да употребљену енергију, или трансформисану материју вратимо у првобитно стање. Постоје научници који су успели теоријски доказати настајање нама познате материје и енергије, ни из чега (лат. *Ex nihilo*), међутим за то нико није понудио довољно јаке аргументе, или доказе, бар не у физичком смислу.

4.1 Откриће електрицитета

Први кораци у развоју електротехнике датирају још из периода старе ере са тим што су тада то били случајни проналасци надарених, а првенствено знатижељних људи. Један од таквих људи био је Талес из Милета (грч. *Θαλής ο Μιλήσιος*, 624. – 547. или 546. године п. н. е.) који је био математичар и државник, а важио је за свестрано образованог природног филозофа кога су убрајали међу Седам мудраца. Талес је био веома посвећен својој делатности у областима математике, филозофије, хидротехнике, наутике, трговине, политике и астрономије, да је убрзо превазишао остале мудраце који су му отворено давали до знања. Посебно важна чињеница која се везује за овог филозофа је та да је он би оснивач првих наука, првенствено због дедуктивног приступа при утврђивању узрочно последичних веза, а нарочито због доказања теорема. Талес из Милета није оставио никакве писане трагове, међутим њему се приписују бројни значајни радови и неке од интересантних изрека, или анегдота. Ходајући путем Талес је гледао у небо и пао у јаму. Звао је у помоћ, а једна старица која је пролазила туда рекла му је: „Е, Талесе, ти ниси у стању да видиш шта ти је пред ногама, а хтео би да спознаш шта је на небу.“. Талес је свим предметима његових посматрања давао живу природу, сматрао је да је материја жива и да магнет привлачи извесне предмете зато што је жив, а након што је открио електрицитет, користио је то као додатни аргумент у прилог својој теорији. Он је запазио да се електрицитет појављује услед трљања вунене тканине о комад ћилибара, након чега ћилибар привлачи лаке делиће материје. Он је то својство ћилибара описао његовом живом природом, а по томе је „електрон“ касније добио своје име, по грчкој речи за ћилибар, електрон (грч. *ήλεκτρον*).

4.2 Прва употреба речи електрон

Након периода дугог више од хиљаду година, од када је последњи пут употребљена реч „електрон“ дошло је до помака, са тадашње тачке гледишта до револуционарног помака, када је енглески лекар, физичар и филозоф Вилијам Гилберт (енгл. *William Gilbert*, 1544 – 1603. године) у свом делу о магнету употребио реч електрични како би именовao појаве о којима је у свом делу писао. Избор речи „електрон“ је био начин да се укаже част човеку који је први запазио електрицитет као појаву, Талесу из Милета, са тим што је, за разлику од Талеса, Вилијам Гилберт имао научни приступ приликом постављања теорема и њиховог доказивања. Време у ком је живео је било прожето сујеверјем, а људи су већину појава објашњавали уз помоћ религије, тако да је научни приступ био права реткост. Поред тога, тадашње власти у Енглеској су имале ригидне погледе на реалност, а на науку су гледали са зебњом јер је имала потенцијал да пољуља темеље на којима је почивала њихова власт, па се често догађало да људи са идејама које нису биле у складу са жељама власти буду кажњавани, некада и смрћу. На научно истраживачки приступ Вилијама Гилберта су велики утицај имали радови Николе Коперника (пољ. *Mikołaj Kopernik*, 1473. – 1543. године) пољског астронома, математичара, правника, лекара и економисте, јер су га инспирисали да одбаци сва ранија сазнања и да почне да гради теорије искључиво на темељу чврстих доказа, што је за тај период у научном смислу била револуционарна промена.

Дело Вилијама Гилберта: „О магнету, магнетским телима и великом магнету Земљи“ (лат. *De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure*, 1600. године), са данашње тачке гледишта, сматра се једним од првих научних радова јер је било резултат процеса помног посматрања, експериментисања и доказивања. Он је доказао да округли магнети делују на магнетну иглу и да је увек окрећу у истом правцу. Зависно од тога, близу ког дела кугле се налази магнетна игла, мењао јој се и смер, што је Вилијам Гилберт користио у експериментима тако што је куглу од магнета користио као модел Земље, а кретање игле је увек било у смеру Северног, или Јужног пола што је опонашало принцип по ком функционише компас који је у том периоду увелико коришћен као средство за навигацију. Из тог експеримента је произилази закључак да је Земља један велики магнет и да се понаша као да јој кроз језгро пролази магнетни штап, што не недвосмислено потврђено неколико векова касније. На основу овог сазнања се дошло до закључка да магнетна сила има улогу у размештају планета и сателита у њиховим орбитама што је отворило пут за сва наредна истраживања свемирских просторана, а што је још значајније, овим је први пут био предложен концепт деловања невидљивих сила на понашање свемирских тела што је било од великог значаја за касније радове Галилеа Галилеја (итал. *Galileo Galilei*, 1564. – 1642. године) и Исака Њутна (енгл. *Isaac Newton*, 1643. – 1727. године).

Вилијам Гилберт је за своје експерименте користио ћилибар, за који се знало да се може наелектрисати, али је он први који је претпоставио могућност постојања везе између електрицитет и магнетизма. Он није био у могућности да то научно докаже, међутим за његове претпоставке, данас постоје чврсти докази. Његов допринос је био веома велики, првенствено због тога што је објединио и систематизовао сва претходна сазнања у вези са магнетизмом и електрицитетом која је могао да докаже, односно да потврди експерименталним путем. Поставио је јасну разлику између својстава наелектрисаних и магнетних, или намагнетисаних тела, као и јасну разлику

између материјала који могу бити наелектрисани, или намагнетисани, односно приви је приметио и забележио своја запажања о феромагнетним материјалима где наводи да су метали са великим процентом железа, кобалта, или никла подложни да у магнетном пољу и сами поприме магнетна својства. Претпоставио је, овај пут погрешно, да су угао осе ротације Земље и њена еклиптична путања последица земљиног магнетног поља, али је тачно објаснио како нагиб стуба Земљине ротације у комбинацији са њеном елиптичном путањом утичу на промену годишњих доба, док земљина прецесија утиче на краткодневице, дугодневице и равнодевице.

4.3 Први громобран

Једна од изрека америчког научника Бенцамина Френклина (енгл. *Benjamin Franklin*, 1706. – 1790. године) је била: „Реци ми и ја ћу заборавити. Објасни ми и ја ћу се сетити. Укључи ме у рад и ја ћу научити.“, што доста говорило о раду овог човека и прецизно указивало на његову природу. Он је био политичар, борац за слободу, учесник у Америчком грађанском рату, један од твораца „Декларације о независности“ и Америчког устава, међутим најпознатији је по свом доприносу науци и по свом истраживачком и проналазачком раду. Остао је познат као изумитељ громобрана и открића тока и карактеристика Голфске струје, међутим његов највећи допринос науци је његов научни рад на тему електрицитета у ком је развијен модел по ком се струја дефинише као усмерено кретање електрона. Прва асоцијација на Бенцамина Френклина је слика на којој пушта змаја у намери да докаже да је гром једна врста електричне варнице. Он је био фасциниран муњама и у једном делу свог живота се потпуно посветио њиховом истраживању, распродао је сву имовину, а добијени новац и комплетну уштеђевину је уложио у истраживање овог феномена.

Бенцамин Френклин је, као и сваки образовани човек тог времена, знао за порекло речи „електрон“, знао је за електрицитет, за запажања старих Грка, знао је за две хиљаде година дугу историју ове појаве, знао је за сва истраживања својих претходника из области магнетизма и за везу између електрицитета и магнетизма, на чему је засновао, а након бројних експерименталних истраживања и развио свој научни рад. Он је дефинисао разлику између наелектрисања и електричне струје, први је дефинисао електричну струју као кретање наелектрисаних честица, открио је постојање позитивног и негативног наелектрисања, и први је дефинисао Закон одржања количине наелектрисања, али је остао најпознатији по открићу и објашњењу електричне природе муња. Доказао је да се на површинама облака и на површини Земље ствара наелектрисање супротних знакова, што резултује стварањем електричног поља између облака и Земље. Електрично поље које се јавља у простору између облака и земље јонизује ваздух што може довести до пробоја диелектрика (ваздуха) и до појаве електричног пражњења, односно до појаве муња. Бенцамин Френклин је често приказан како пуштајући змаја из руке покушава да потврди своју теорију о муњама, међутим, истина је да је он тај експеримент изводио тако што је био заклоњен од кише и евентуалног удара грома а змај је држао уз помоћ конца који је био направљен од изолационих материјала, док је змај био повезан помоћу нити од проводничких материјала са уземљењем.

Завалујући закључцима својих истраживања, Бенцамин Френклин је дао предлог нацрта громобрана који је и данас у употреби за мање грађевинске објекте и који се још увек назива Френклинов штап. Пошао је од чињенице да проводници

обилују слободним електронима и да њихово кретање постаје усмерено, уколико се изложи дејству електричног поља. Такође је знао да и гасови и течности располажу одређеном количином слободних електрона, или позитивних и негативних јона. Истраживањем је закључио да интензитет наелектривања зависи од облика и површине проводника, односно да је распоред наелектривања равномеран на телима која имају облик сфере, док је код тела са испупчењима неравномерно распоређен тако што је на шиљцима већа количина наелектривања, док је мања на равним и удубљеним деловима. Ефекат неравномерне концентрације електрицитета, односно ефекат концентрације електрицитета у зашиљеним деловима проводника, касније је назван Ефекат шиљка, а ово откриће је омогућило Бенџамину Френклину да патентира први громобран. Уколико је шиљак наелектриван великом количином наелектривања, на његовом врху ће се јавити јако електрично поље које ће јонизовати ваздух у дом подручју, а обзиром на земљино наелектривање, потребно је направити довољно велики стуб од материјала који проводе електричну енергију како би се зашиљени врх громобрана повезао са уземљењем. Јонизација ваздуха у подручју у близини громобрана повећава могућност да се електрични лук формира баш у том подручју што би наелектривање спровело у земљу.

Осамнаести век није располагао адекватним инструментима који би омогућили истраживање атмосферских пражњења, па ни Бенџамин Френклин није могао да оствари боље резултате. Први напреднији громобрани, су реализовани тако што је громобранска инсталација постављана тако да формира Фарадејев кавез који се преко уземљења повезивао са Земљом. Приликом удара грома у овакав систем заштите, унутрашњост кавеза, захваљујући особини Фарадејевог кавеза да блокира спољашње статичко електрично поље, остаје заштићена, односно објекат у громобранској инсталације. Технологија двадесетог века омогућила квалитетније начине мерења и снимања, па самим тим и боље упознавање ове појаве. Први покушаји за успешнију борбу против атмосферских електричних пражњења су били у вези са нуклеарном енергијом. Најистакнутије међу именима тог времена је било име мађарског физичара и проналазача Леа Силара (мађ. *Szilárd Leó*, 1898. – 1964. године) који је сматрао да је могуће разелектрисати олујне облаке и предупредити електрична пражњења, међутим његов модел је захтевао веома велику количину нуклеарне енергије, због чега је напуштен. Наредна истраживања су кренула у смеру употребе радиоактивних материјала који би омогућили конструкцију громобрана који би поспешили јонизацију ваздуха у простору око врха громобрана па самим тим и могућност удара грома на предвиђено место, међутим, иако је производња „радиоактивних громобрана“ била заступљена током читавог двадесетог века, доказана је потпуна неефикасност оваквог система, а због присутне нежељене опасности, њихова производња је прекинута и они су повучени, или их повлаче из употребе.

Данас се громобрани за мање објекте реализују по узору на Френклинов штап, док се за веће објекте громобранска инсталација поставља тако да формира Фарадејев кавез, међутим новија истраживања се крећу у смеру прављења громобранских врхова са уређајима за рано стартовање, односно за дириговање и вођење спонтане јонизације пред наилазак невремена. Један од начина да се то постигне је да се на врху громобрана постави уређај који ће стварати низове високонапонских импулса који ће утицати на јонизацију ваздуха у подручју изнад громобранског врха. Неопходна енергија за одржавање и регулисање ових појава може да се добије из електричног поља чија јачина се значајно повећава у периодима пред настанак

атмосферских пражњења. Истраживања су доказала да овакви громобрански врхови показују јасно и предвидиво понашање и брже реаговање у односу на класичне громобранске врхове у истим електричним, географским и климатским условима. Брзина реаговања је већа услед мањег пута који муња треба да пређе од облака до места удара грома, односно места где се енергија предаје громобранском систему, тачно за временски период који је потребан да муња пређе раздаљину за коју је скраћена укупна путања муње, обзиром да се смањује дебљина диелектрика због повећане концентрације наелектрисаних јона.

4.4 Кулонов закон – основни закон електростатике

Електростатика је област електротехнике која изучава статичко наелектривање, односно природу носилаца наелектривања која могу бити стационарна, или слабо покретљива. Електрицитет, односно нагомилавање наелектривања се догађа у простору изнад површина материјала који не садрже честице које могу да то наелектривање одведу са површине. Електрицитет може да пређе са једног објекта на други, односно из простора око једног објекта у простор око другог, уколико се ти објекти нађу у непосредној близини. Размена наелектривања се догађа при сваком довољно великом приближавању наелектриваних објеката са тим што је тај ефекат приметан чулима када површине наелектриваних тела имају знатан отпор према кретању наелектривања и када постоји значајна количина наелектривања у простору око њих. Могућност да се наелектривање произвољно створи и да се зароби у жељеном простору је, са становишта електростатике, веома значајно јер омогућава посматрање електростатичких појава. Електростатичке појаве настају од сила које се јављају између наелектриваних честица, а које су први пут описане и дефинисане Кулоновим законом, који је касније назван по њему.

Француски физичар Шарл Огистен де Кулон (франц. *Charles Augustin de Coulomb*, 1736. – 1806. године) је дао велики допринос електростатици, електротехници, физици и науци уопште а његов најистакнутији научни рад је у вези са електростатичком силом која се јавља између наелектриваних тела. Он је свој рад засновао на научним принципима при чему се ослањао на експериментална истраживања, али и на радове својих претходника. Научници са почетка XVIII века су претпостављали да је електрична сила, попут гравитационе и да се смањује са повећањем растојања између наелектриваних тела, при чему су силу мерили између плоча кондензатора. Енглески хемичар, писац и политичар, Џозеф Пристли (енгл. *Joseph Priestley*, 1733. – 1804. године) је експериментисао на наелектриваним 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 наелектриваних 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 наелектриваних честица при чему је потврдио да је интензитет електростатичке силе између два наелектривања, занемарљиво мале величине, директно пропорционално производу количина њихових наелектривања, а обрнуто пропорционално квадрату растојања између њих.

Наелектрисање атома је неутрално, обзиром да садрже једнак број протона и електрона и обзиром да су њихова наелектрисања једнака, па и свако тело које садржи једнак број протона и електрона можемо сматрати неутралним по питању наелектрисања. Аналогно, свако тело које садржи вишак електрона је негативно наелектрисано, а свако тело са вишком протона је позитивно наелектрисано, док је наелектрисање, односно количина електрицитета Q једнака производу елементарног наелектрисања e и броја наелектрисаних честица N :

$$Q = N \cdot e \quad (3.8.5)$$

Кулонов закон дефинише међусобно деловање наелектрисаних тела занемарљиво малих димензија које се због тога називају тачкастим наелектрисањима. Интензитет електростатичке силе која се јавља између тачкастих наелектрисања, односно Кулонова сила F која је директно пропорционална Кулоновој константи k_0 , односно константни сразмерности и производу количина наелектрисања Q_1 и Q_2 која се налазе у хомогеној средини, а обрнуто пропорционална квадрату њиховог растојања r .

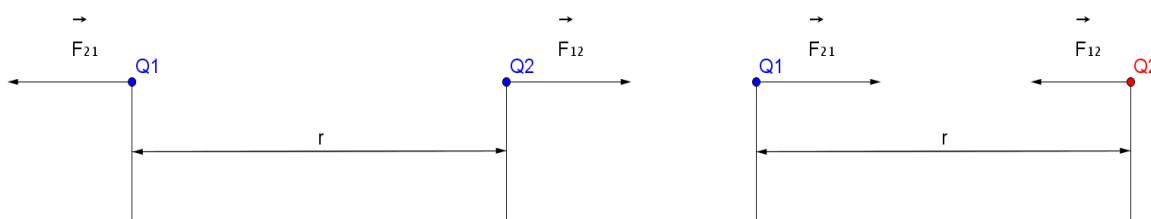
$$F = k_0 \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} [N] \quad (4.4.1)$$

$$k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{Nm^2}{C^2} \right] \quad (4.4.2)$$

Вредност Кулонове константе, односно константе пропорционалности је:

$$k_0 = 9 \cdot 10^9 \left[\frac{Nm^2}{C^2} \right] \quad (4.4.3)$$

Кулонова сила је вектор који има правац праве која пролази кроз оба тачкаста наелектрисања Q_1 и Q_2 , док јој смер зависи од предзнака наелектрисања и разлике њихових интензитета. Кулонова сила формира смер и правац \vec{F}_{12} и \vec{F}_{21} зависно од наелектрисања Q_1 и Q_2 . Уколико су наелектрисања истог знака, оба позитивна, или оба негативна ($Q_1 \cdot Q_2 > 0$) сила између тачкастих наелектрисања је одбојна, а уколико су различита ($Q_1 \cdot Q_2 < 0$) сија је привлачна. Интензитети сила F_{12} и F_{21} увек су једнаки.



Слика 1 Правац и смер силе истоимених и разноимених наелектрисања

Кулонова сила је векторска величина што значи да је одређена интензитетом, правцем и смером.

$$\vec{F} = F \cdot \vec{r} \quad (4.4.4)$$

Интензитет силе је одређен алгебарском вредношћу израза за одређивање Кулонове силе, а правац и смер се могу приказати преко јединичног вектора \vec{r} . Јединични вектор \vec{r} има интензитет 1, правац подударан са правом која спаја тачкаста наелектрисања Q_1 и Q_2 референтни смер од Q_1 до Q_2 . Уколико су наелектрисања Q_1 и Q_2 истог знака, $Q_1 > 0$ и $Q_2 > 0$ онда је сила \vec{F}_{12} одбојна, а уколико су наелектрисања Q_1 и Q_2 различитог знака, $Q_1 > 0$ и $Q_2 < 0$, онда је сила \vec{F}_{12} привлачна, при чему је јединични вектор $\vec{r}_{012} = -\vec{r}_{021}$ што значи да му је интензитет једнак 1, правац исти као правац јединичног вектора \vec{r} , а смер од тачкастог наелектрисања Q_2 ка наелектрисању Q_1 , односно супротан од смера вектора \vec{r} , па је сила \vec{F}_{21} којом Q_2 делује на Q_1 супротног смера од силе \vec{F}_{12} . Уколико је наелектрисање $Q_1 < 0$ и $Q_2 < 0$, онда је сила \vec{F}_{21} одбојна, а уколико је $Q_1 < 0$ и $Q_2 > 0$, онда је сила \vec{F}_{21} привлачна.

Диелектрична константа ε , или специфична диелектрична пропустљивост утиче на интензитет Кулонове силе јер она, поред тога што зависи од интензитета и смера наелектрисања тела, зависи и до средине у којој се та тела налазе, односно од специфичне електричне отпорности средине. Најмању електричну отпорност има празан простор, односно вакум и његова диелектрична константа износи:

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \left[\frac{C^2}{Nm^2} \right] \quad (4.4.5)$$

Све остале средине имају већу специфичну електричну отпорност, разликују се међу собом. Њихове диелектричне константе се називају релативним, оне су неименовани коефицијенти и означавају се са ε_r . Диелектрична константа се добија као производ диелектричне константе вакума и релативне диелектричне константе.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \quad (4.4.6)$$

Табела 1 Диелектричне константе

Средина	ε_r
Вакум	1
Ваздух	1,0006
Трансформаторско уље	2,2 – 2,5
Гума	3,0 – 6,0
Стакло	4,0 – 17,0
Електротехнички порцелан	5,5 – 6,0
Вода	81

4.5 Амперов закон – основни закон електродинимике

Откриће електрицитета, бројни покушаји да се схвате принципи по којима се понашају наелектрисане честице и коначно дефинисање законитости у вези са електрицитетом су покренули човечанство и значајно убрзали технички и технолошки развој, међутим праву револуцију у развоју електротехнике представљало је разумевање принципа који доводе у везу електричну струју у проводнику и магнетно поље око проводника које се појављује као последица протикања те електричне струје. За ово откриће је заслужан француски физичар, математичар и природњак Андре Мари Ампер (франц. *André Marie Ampère*, 1775. – 1836. године) који се сматра оснивачем електродинимике. Андре Ампер је засновао теорију магнетизма и дефинисао узајамно дејство електричних струја. Он је својим експериментима доказао да проводници кроз који протиче струја међусобно делују један на други, увео је појам „електрична струја“, сматра се да је формулисао појам „кинематика“, док се зна да је 1830. године увео научни појам „кибернетика“. Њему у част је названа јединица за интензитет електричне струје, „ампер“ и њој одговарајући мерни инструмент, „амперметар“.

Андре Ампер је 1820. године установио правило за одређивање правца дејства магнетног поља које се појављује око електричног проводника на магнетну иглу и то правило је познато као Амперово правило. Успео је да докаже узајамно деловање магнета и електричне струје и његови радови су унели бројне новине у подручје електротехнике па су у том периоду патентирани бројни нови мерни инструменти. Он је установио да Земљино магнетно поље утиче на покретни проводник са електричном струјом, односно успео је да докаже претпоставке својих претходника, развио је теорију магнетизма и предложио концепте за употребу електромагнетних процеса у преносу сигнала и, по чему је најпознатији, доказао је узајамно дејство електричних струја које протичу у непосредној близини након чега је дефинисао закон који описује ту појаву, који је касније добио назив по њему, Амперов закон. Он је сматрао да је узајамно деловање магнета последица кружних молекулских струја унутар магнета који стварају магнетна поља, односно да је магнетно поље великих магнета последица заједничког дејства елементарних магнета што је наговестило могућност да магнетизам може потицати од струјања честица кроз магнет што је у тесној вези са струјањем електрона. Две године касније, 1822. је открио да је могуће вештачки креирати магнетно поље уз помоћ струјног калема, односно соленоида, одакле је проистекла идеја за бројне намене електромагнета. Недуго затим, 1826 доказана је теорема о циркулацији магнетног поља, а 1829. године Ампер је патентирао комутатор и електромагнетни телеграф.

Андре Мари Ампер је у свом истраживачком раду закључио да нема електричне струје без појаве магнетног поља, ни магнетног поља без електричне струје и да су те две појаве заправо два дела једне јединствене електромагнетне појаве. Непосредна околина сталних магнета и проводника кроз које протиче електрична струја манифестује се карактеристично идентично. Магнетна игла која се нађе у непосредној околини ових тела тежи да заузме одређени положај, као и сви феромагнетни и магнети уопште који су у том подручју подвргнути дејству механичких сила. Проводник кроз који протиче електрична струја такође је подвргнут дејству механичких сила које називамо електромагнетним силама. Док се у проводницима који се крећу у односу на сталне, или електромагнете индукују електромоторне силе. Магнетно поље представља специфично стање средине у

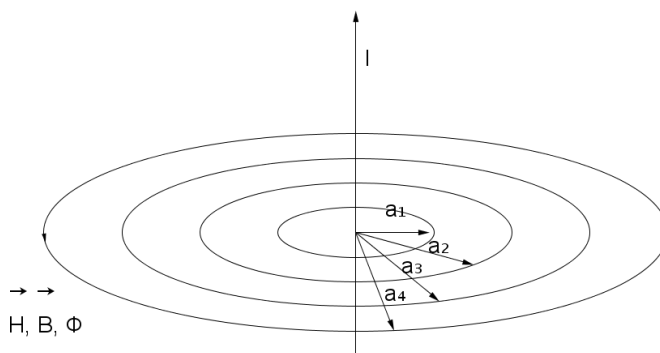
околини проводника кроз који протиче електрична струја, или у околини сталног магнета које се манифестује дејством магнетне силе на проводник са струјом који се унесе у простор тог поља. Када се у проводнику који се налази у страном магнетном пољу успостави електрична струја, на њега делују механичке силе које теже да га покрену, или деформишу, што је од суштинског значаја за рад електро механичких машина. Силе које се јављају у међусобном дејству магнетних поља и проводника кроз који протиче електрична струја називају се електромагнетним силама.

Амперов закон дефинише однос магнетног поља и интензитета електричне струје која га производи. Заваљујући Амперовом закону могуће је одредити интензитет магнетног поља које настаје услед деловања магнетног поља, или интензитета електричне струје која настаје у проводнику услед деловања магнетног поља. Интензитет магнетног поља \vec{H} је једнака интензитету магнетне индукције \vec{B} у односу на магнетну пермеабилност.

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} \left[\frac{A}{m} \right] \quad (4.4.7)$$

Интензитет магнетне индукције је директно сразмеран интензитету електричне струје које протиче кроз проводник и магнетној пермеабилности, а обрнуто пропорционалан дужини путање магнетне индукције на растојању a око тог проводника.

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} [T] \quad (4.5.1)$$



Слика 2 Смер електричне струје, магнетног поља и магнетне индукције

Интензитет магнетног поља:

$$H = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \quad (4.5.2)$$

$$H = \frac{I}{l} \left[\frac{A}{m} \right] \quad (4.5.3)$$

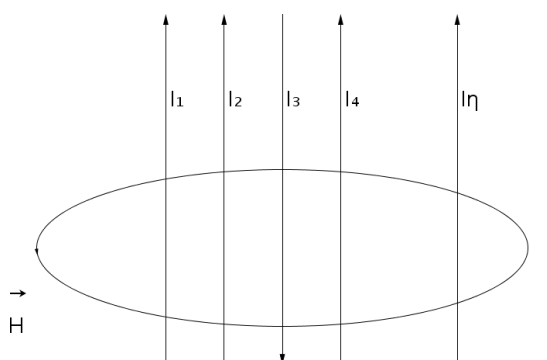
По Амперовој теореме, односно закону укупне струје, магнетна индукција дуж затворене контуре једнака је производу магнетне пермеабилности вакума μ_0 и суме свих струја које обухвата та контура, са тим што се струје чији је смер у складу са референтним (преовлађујући смер) узимају са позитивним предзнаком, а струје чији је смер супротан, са негативним предзнаком.

$$Bl = \mu_0 \sum_{k=1}^n I_k \quad (4.5.4)$$

Интензитет магнетног поља у затвореној контури би био једнак алгебарском збиру свих струја, обухваћених том контуром.

$$Hl = \sum_{k=1}^n I_k \quad (4.5.5)$$

$$Hl = I_1 + I_2 + (-I_3) + I_4 + \dots + I_n \quad (4.5.6)$$



Слика 3 Смерови електричних струја и магнетног поља

Магнетна пермеабилност је величина која показује интензитет магнетизације неког материјала, односно могућности успостављања магнетног поља у том материјалу. Обележава се грчким словом μ („ми“), а јединица пермеабилности је хенри по метру $\left[\frac{H}{m} \right]$, њутн по амперу на квадрат $\left[\frac{N}{A^2} \right]$, или волт секунд по ампер метру $\left[\frac{Vs}{Am} \right]$. Сваки материјал има специфичну магнетну пермеабилност, назива се универзалном магнетном константом, а за вакум износи:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \left[\frac{H}{m} \right] \quad (4.5.7)$$

Феромагнетни материјали имају пермеабилност неколико хиљада пута већу од вакума, на пример апсолутна магнетна пермеабилност кобалта износи $2,3 \cdot 10^{-2} \frac{H}{m}$, чистог гвожђа (железа) $6,3 \cdot 10^{-3} \frac{H}{m}$, угљеничког челика $1,26 \cdot 10^{-4} \frac{H}{m}$, док је за никал од $1,26 \cdot 10^{-4} \frac{H}{m}$ до $7,54 \cdot 10^{-4} \frac{H}{m}$. Релативна пермеабилност се изражава као однос апсолутне магнетне пермеабилности и пермеабилности.

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (4.5.8)$$

4.6 Омов закон – анализа електричних кола

Немачки физичар Георг Симон Ом (нем. *Georg Simon Ohm*, 1789. – 1854. године) је, паралелно са својим занимањем средњошколског професора истраживао разне појаве у електротехници при чему је употребљавао сопствену опрему за мерење што му је омогућавало одређену предност у односу на његове савременике који су се бавили истраживањима у истој области. Приликом испитивања електрохемијске ћелије, претече данашње електричне батерије, закључио је да електрична струја која тече кроз проводник директно пропорционална површини његовог попречног пресека, а обрнуто пропорционална његовој дужини. Захваљујући резултатима својих експеримената, утврдио је постојање линеарне зависности између висине напона, интензитета електричне струје и електричне отпорности потрошача, што је омогућило прве анализе електричних кола. Период од 1825. до 1826. године је провео експериментишући, а резултате својих радова је објавио 1827. године у књизи „Галванска електрична кола проучавана математички“ (нем. *Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet*). Закон који је открио и дефинисао је најзначајнији рани опис физике електричне енергије. Линеарна зависност интензитета електричне струје и висине напона у линеарним проводницима се данас сматра очигледном, међутим након објављивања свог научног рада, Ом се суочио са оштрим критикама немачког друштва које је његове закључке поредило са јересима, а његове поступке као недостојне средњошколског професора. Овакав друштвени третман је умањио значај његових радова, а они су на признање чекали све до краја педесетих година, када је Ом признат као научник од немачке и светске научне заједнице.

Закон који је у част Георга Симона Ома добио назив Омов закон претпоставља да је електрична струја у проводнику последица електричног поља у њему и да је интензитета електричне струје I , у општем случају, функција напона U на крајевима тог проводника, што представља струјно напонску карактеристику проводника и може се приказати:

$$I = f(U) \quad (4.6.1)$$

Уколико претпоставимо да проводници не пружају отпорност проласку електричне струје и да у струјном колу постоји само један потрошач, један отпорник, зависност интензитета електричне струје од висине напона може да се изрази преко

отпорности потрошача, или преко његове проводности:

$$I = GU \quad (4.6.2)$$

Јединица електричне проводности је ампер по волту $\left[\frac{A}{V}\right]$, односно сименс $[S]$.

Електрична отпорност је обрнуто сразмерна електричној проводности:

$$R = \frac{1}{G} [\Omega] \quad (4.6.3)$$

Уколико претпоставимо да је електрична отпорност потрошача константна, зависност интензитета електричне струје и напона можемо приказати као:

$$I = \frac{U}{R} [A] \quad (4.6.4)$$

Односно у еквивалентним облицима:

$$U = RI [V] \quad (4.6.5)$$

$$R = \frac{U}{I} [\Omega] \quad (4.6.6)$$

Познато је да се отпорност проводника, односно потрошача мења у зависности од температуре, а температура се мења у зависности од интензитета струје која протиче кроз потрошач, или проводник, док Омов закон важи само у случају линеарних проводника, односно код система чија се електрична отпорност не мења услед промене интензитета електричне струје која протиче кроз њих. На константној температури, под претпоставком да је отпорност проводника непроменљива услед промене интензитета електричне струје, отпорност је директно пропорционална специфичној отпорности материјала од ког је проводник направљен и дужине проводника, а обрнуто сразмерна површини попречног пресека проводника:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} [\Omega] \quad (4.6.7)$$

$$\rho = [\Omega m] \quad (4.6.8)$$

Аналогно, електрична проводност проводника је:

$$G = \frac{\sigma \cdot S}{l} [S] \quad (4.6.9)$$

$$\sigma = \left[\frac{S}{m} \right] \quad (4.6.10)$$

4.7 Фарадејев закон – закон електромагнетне индукције

Најбитнију смерницу за сва будућа истраживања у области електротехнике и будуће техничке и технолошке иновације представља откриће енглеског физичара и хемичара Мајкла Фарадеја (енгл. *Michael Faraday*, 1791. – 1867. године), који је 1831. године успео да докаже да магнетизам производи електрицитет и који је дефинисао најзначајнији закон електротехнике, Закон електромагнетне индукције. Мајкл Фарадеј је остао запамћен као проналазач првог електромотора који је користио као уређај за експериментисање са магнетним пољем тако што је механички померао проводник око фиксног сталног магнета, или је стални магнет окретао око фиксираног проводника. Он је намеравао да изазове електричну струју у колу које се налазило у непроменљивом магнетном пољу, односно да магнетизам конвертује у електрицитет. Настojeћи да експериментално докаже своју хипотезу, он је открио супротан ефекат, који је касније постао основа технологија за претварање механичке енергије у електричну посредством генератора електричне енергије, или за претварање електричне енергије у механичку посредством електромотора.

Мајкл Фарадеј је пропуштао јаку једносмерну струју кроз калем која је стварала магнетно поље око њега у нади да ће изазвати сталну једносмерну струју у намотајима другог калема који се налазио у том магнетном пољу, али се то није догађало. Приликом даљег експериментисања са калемовима закључио је да калемови, који се налазе у непосредној близини, утичу један на други тако што се, приликом искључивања, или укључивања протока електричне струје у једном од калемова, у овом другом јављају краткотрајне струје супротног смера. Исти ефекат је уочавао и приликом међусобне промене положаја два калема. Уочавајући ове појаве и разматрајући околности, Фарадеј је дошао до закључка да је узрок електромагнетне индукције промена магнетног флукса $\Delta\Phi$, а касније је закључио са је интензитет индуковане струје сразмеран брзини промене магнетног флукса. Након својих открића, Мајкл Фарадеј је закључио да промена магнетног флукса кроз неку проводну контуру изазива електричну струју у тој контури, да електричну струју покреће електромоторна сила која настаје у тој контури услед промене магнетног флукса, да је електромоторна сила електромагнетне индукције вртложно електрично поље које се јавља у целом проводнику и да се електромагнетно поље разликује од електростатичког јер га не стварају наелектрисања већ електромоторна сила која настаје услед промене магнетног флукса.

Електромагнетна индукција ствара разлику потенцијала, односно напон, у проводнику који се налази у променљивом магнетном пољу. Електромоторна сила, створена у затвореној контури је пропорционална брзини промене магнетног флукса кроз површину која је обухваћена том контуром. Индукована електромоторна сила у затвореној контури сразмерна је негативној брзини промене флукса:

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} [V] \quad (4.6.11)$$

Где је ε електромоторна сила изражена у волтима, а Φ магнетни флукс изражен у веберима. Негативан предзнак представља правило да индукована електромоторна сила има смер који својим пољем тежи да спречи промену магнетног флукса који је проузроковао магнетну индукцију, што је у складу са Лоренцовим правилом, Хендрик Антон Лоренц (хол. *Hendrik Antoon Lorentz*, 1853. – 1928. године).

Како би се добила довољно велика електромоторна сила у оптималним условима, у пракси се употребљавају проводници намотани који су намотани тако да се електромоторна сила мултиплицира са сваким намотајем, одакле претходна формула добија следећи облик:

$$\varepsilon = \frac{N \cdot \Delta\Phi}{\Delta t} [V] \quad (4.7.1)$$

Где је ε електромоторна сила изражена у волтима, N број навојака у намотају, а Φ магнетни флуks једног навојка изражен у веберима. Број навојака се множи са вредности интензитетом промене магнетног флуksа зато што се калем, као извор индуковане електромоторне силе, може посматрати као редна веза појединачних индукованих електромоторних сила навојака, где се множењем са укупним бројем навојака добија вредност индуковане електромоторне силе у калему.

4.8 Џулов закон – трансформација енергије

Један од истакнутих научника који се у свом животу и раду водио принципом реалности, а који је остварио значајне резултате и омогућио будућим поколењима да наставе научно истраживачки рад на основама његовог научног рада, био је енглески физичар Џејмс Прескот Џул (енгл. *James Prescott Joule*, 1818. – 1889. године). Он је био дете из пиварске породице и као млад је научио да свет посматра кроз економску призму, а захваљујући свом истраживачком духу, науку је доживљавао као инспирацију и забаву. Након што је постао власник породичног посла, почео је активно да истражује могућности додатне зараде кроз модернизацију производних процеса путем увођења новооткривених електричних мотора на место парних машина. Његова амбиција се није заустављала на имплементацији нових технолошких достигнућа, већ је самостално експериментисао и 1838. године је објавио научни рад о електрицитету, а 1840. године је формулисао законе који су касније названи по њему, међутим реакција Краљевског друштва биле је прилично обесхрабрујућа. Он је знао да савремено економско друштво науку посматра у интеграцији са технологијом и схватио принцип по ком ће успети да оствари своје намере. Поредехи енергију која се добија сагоревањем угља, са енергијом која се добија из електрохемијских батерија, схватио је да иста количина корисног рада, има различиту цену зависно од тога који енергент се користи у том процесу, што га је навело на идеју о трансформацији енергије.

Један од најпознатијих експеримената Џејмса Џула се састојао од тега који је преко сајле био повезан са лопатицама које су биле уроњене у воду тако да када гравитација вуче тег, тег посредством сајле покреће лопатице које су уроњене у воду. Приликом померање тега, потенцијална енергија терета се претвара у кинетичку енергију која покреће воду и која се мањим делом претвара у топлоту, што је навело на закључак да се укупна енергија трансформисала једним делом у механичку кинетичку енергију, а другим делом у топлотну. Он је закључио да су различити појавни облици енергије у основи иста енергија која се може претварати из једног облика у други, што је представљало почетак бројних других истраживања и што је наговестило постојање законитости када је у питању одржања енергије за термодинамичке системе. Његова истраживања су била базирана на проучавању топлоте и њене везе са електрицитетом и механиком, а када је 1841. године послао резултате својих истраживања Краљевском друштву остварио је свој циљ и заслужио

место међу истакнутим научницима, а у његову част је названа јединица за рад и енергију, цул $[J]$.

Џејмс Прескот Џул је доказао да се проводник кроз који протиче електрична струја загрева зависно од електричне отпорности тог проводника и од интензитета електричне струје која кроз њега протиче. Дефинисао је закон по ком је могуће израчунати количину енергије која се претвара у топлоту приликом проласка електричне струје, одређене висине напона кроз проводник, отпорник, или потрошач, уопште, у произвољном временском интервалу. Уколико посматрамо произвољни проводник отпорности R кроз који протиче електрична струја интензитета I одређена разликом потенцијала U на крајевима проводника, можемо изразити интензитет електричне струје преко количине електрицитета која прође кроз попречни пресек проводника у јединици времена следећом формулацијом:

$$I = \frac{Q}{t} [A] \quad (4.8.1)$$

$$Q = I \cdot t [C] \quad (4.8.2)$$

Приликом проласка електричне струје кроз проводник долази до загревања проводника услед сударања усмерених електрона са јонима кристалне решетке, приликом чега се део кинетичке енергије електрона претвара у топлотну. Рад сила при кретању електрона, односно при преношењу електрицитета Q кроз проводнике је једнак:

$$A = Q \cdot U [J] \quad (4.8.3)$$

$$A = UI t [J] \quad (4.8.4)$$

По закону о одржању енергије, а обзиром да поред самог проводника не постоје други потрошачи, он се понаша као грејач, а целокупни рад сила се трансформише у топлоту. Користећи Омов закон могу се добити алтернативни изрази за снагу и топлоту Џулових губитака:

$$W = UI t [J] \quad (4.8.5)$$

$$W = RI^2 t [J] \quad (4.8.6)$$

$$W = \frac{U^2}{R} t [J] \quad (4.8.7)$$

Уколико претпоставимо да је процес претварања електричне енергије у топлоту величина која је непроменљива у времену, снагу трансформације електричне енергије у топлотну можемо приказати као:

$$P = \frac{W}{t} [W] \quad (4.8.8)$$

$$P = \frac{RI^2 t}{t} [W] \quad (4.8.9)$$

$$P = RI^2 [W] \quad (4.8.10)$$

$$P = \frac{U^2}{R} [W] \quad (4.8.11)$$

Јединица за рад, односно за топлоту Џулових губитака је џул $[J]$, а за снагу ват $[W]$.

Уколико желимо да снагу грејача, уместо електричном отпорношћу, прикажемо преко електричне проводности, то можемо формулисати као:

$$P = \frac{U^2}{\frac{1}{G}} [W] \quad (4.8.12)$$

$$P = U^2 G [W] \quad (4.8.13)$$

4.9 Кирхофова правила – анализа сложених електричних кола

Научник који је наметнуо нови приступ научно истраживачком раду који је подразумевао виши ниво размишљања како би се разумеле апстрактне физичке појаве био је немачки физичар Густаф Роберт Кирхоф (нем. *Gustav Robert Kirchhoff*, 1824. – 1887. године). Његови радови су били доста комплексни у односу на радове његових савременика, а свакако у односу на његове претходнике, јер је сагледавао стварност на један нов начин, схватајући количину енергије која нас окружује и намеравајући да ту енергију стави под контролу човечанства. За време студија, Густаф Кирхоф је дефинисао односе између електричних струја, напона и отпора, односно снаге потрошача у електричним колима што је омогућило анализу сложених електричних кола, а касније док је радио на различитим универзитетима у Немачкој, наставио је да даљим изучавањем електрицитета. Усавршио је спектралну анализу и открио два нова хемијска елемента из групе метала: Рубидијума. – Rb (лат. *rubidium*) и Цезијума. – Cs (лат. *caesium*), објаснио је природу Фраунхоферових линија у сунчаном спектру (нем. *Joseph Ritter von Fraunhofer*, 1787. – 1826. године) и дефинисао бројне појаве у вези са енергијом електромагнетних таласа.

Остао је запамћен као творац једначина које описују однос струје и напона у електричним колима. Његове једначине су се ослањале на научне радове његових претходника Георга Симона Ома и Џејмса Клерка Максвела, а обзиром да је он био научник који је систематизовао ту област, њему у част су назване Кирхофовим правилима, или Кирхофовим законима.

За одређивање интензитета електричне струје у простом колу користи се Омов закон. По Омовом закону, интензитет електричне струје је једнак количнику алгебарске суме свих електромоторних сила и суме свих отпора у колу:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{\sum_{r=1}^n R_r} [A] \quad (4.9.1)$$

Смер струје у електричном колу се одређује тако што се прво претпостави и усвоји један смер струје као референтни, након чега се у односу на њега одређује алгебарски збир свих електромоторних сила, тако што вредност електромоторне силе узима са позитивним предзнаком уколико је смер струје у складу са референтним смером, а негативни предзнак, уколико је смер струје супротан у односу на референтни смер. Напон између две произвољне чворне тачке у колу може се одредити тако што се алгебарски сабирају сви падови напона и све електромоторне силе између те две тачке. Падови напона на потрошачима, односно на отпорницима се рачунају са позитивним предзнаком уколико су смерови контура и смерови електричне струје исти, а са негативним предзнаком, уколико нису. Исто важи и за предзнаке електромоторних сила, уколико су смерови контура и електромоторних сила исти, онда се оне разматрају са позитивним предзнаком, а уколико нису, са негативним предзнаком. Поступак одређивања интензитета свих струја, и висина напона у сваког пара чворова започиње одређивањем независних контура за сваку целину струјног кола и додавања референтног смера обилажења са сваку од њих, на основу чега се исписује одговарајући број Кирхофових једначина уз помоћ којих се, након уврштавања познатих вредности, израчунавају непознате вредности. Непознате вредности могу бити струје којих код сложених кола има колико је и грана сложеног електричног кола, или електричне отпорности отпорника и адекватни падови напона на њима.

Кирхофови закони се односе на сложена кола. I Кирхофов закон говори о струјама једног чвора и каже да је збир свих струја које утичу у чвор једнак збиру струја које из тог чвора истичу, или да је алгебарски збир интензитета свих струја у једном чвору једнак нули, обзиром да се струје које улазе у чвор узимају са позитивним, а струје које из чвора излазе, са негативним предзнаковом. II Кирхофов претпоставља формирање посебне Кирхофове једначине за сваку контуру, односно за сваку затворену усмерену линију дуж грана дела електричног кола између две чворне тачке који чини једна или више грана кола које се надовезују једна на другу. Овај закон говори о алгебарском збиру свих електромоторних сила који је једнак алгебарском збиру падова напона на отпорницима, односно на алгебарском збиру производа електричне отпорности отпорника и интензитета електричне струје која пролази кроз њих. Обзиром да свака контура представља генерализацију простог електричног кола са могућношћу да различити елементи имају различите струје, струје различитих грана, формирају се алгебарске суме електромоторних сила по правилима Омовог закона за проста кола. Приликом формирања алгебарске суме падова напона на отпорницима, критеријум за одређивање предзнака је поклапање смера електричне струје која пролази кроз отпорник са смером обилажења по контури, па је предзнак позитиван уколико се ова два смера поклапају, односно негативан уколико се смерови разликују.

4.10 Никола Тесла – асинхрони мотор

Никола Тесла је сматрао да је смисао рада сваког истраживача и изумитеља да спасава људске животе. Истраживачи настоје да упознају принципе и да овладају природним силама, при чему долазе до открића која људима могу обезбедити већу удобност, или лагодност живота и тако доприносе сигурности наше егзистенције. Сматрао је да су због начина својих живота, истраживачи и научници у бољој позицији од обичних људи и да имају развијеније способности, па самим тим и боље шансе да се заштите у случају опасности, обзиром да су пажљивији у осматрањима и успешнији у решавању проблема. Рођен је 1865. године у Смиљану, а умро је 1943. године у Њујорку, а остао је запамћен као најпознатији светски проналазач и научник у областима физике, електротехнике и радиотехнике. За време свог живота патентирао је више од 700 патената од којих 112 у области електротехнике, а његови најзначајнији проналасци су полифазни системи, који су омогућили ефикаснији пренос електричне енергије на већим удаљеностима, обртно магнетно поље, асинхрони мотор, синхрони мотор, Теслин трансформатор и систем за генерисање високофреквентних струја што је омогућило модулацију радио сигнала. На Генералној конференцији тежина и мера, 1960. године је одлучено да се јединица за јачину магнетног поља, односно за густину магнетног флукса назове по Николи Тесли и она данас носи назив тесла $[T]$.

$$\Phi = B \cdot S [Tm^2] \quad (4.10.1)$$

$$B = \frac{\Phi}{S} [T] \quad (4.10.2)$$

$$T = \frac{Wb}{m^2} \quad (4.10.3)$$

Односно, уколико желимо да прикажемо основним јединицама SI система:

$$T = \frac{kg}{S^2 \cdot A} \quad (4.10.4)$$

Први Теслин контакт са електромотором се догодио на факултету на ком је студирао у току његове друге године студија. Електромотор је имао статор од два стална магнета у облику пљоснатих потковица и ротор од арматуре на коју је била намотана жица чији контакти су завршавали на комутатору. Након прикључивања мотора на извор електричне енергије, догађало се четкице праве проблеме у контакту производећи јаке варнице што је навело Николу Теслу на размишљање са фокусом на могућностима за конструисање електромотора без четкица. То је одмах и прокоментарисао, међутим професор који је изводио експерименте пуштајући електромотор да ради, је то окарактерисао као Перпетуум мобиле (лат. *Perpetuum mobile*) и рекао да би то било исто као када би се гравитациона сила преобратила у ротационо силу. Међутим, Никола Тесла није одустајао од својих идеја. Често се наводи изјава коју је дао приликом једног од интервјуа: „Али инстинкт је нешто што превазилази знање. Ми несумњиво имамо финија нервна влакна, која нам омогућавају да осетимо истину тамо где су логичко закључивање, или било који свесни умни напор узалудни.“ Приликом једне од шетњи је схватио како је могуће

направити електромотор без комутатора, а свој доживљај приликом тог увида је описао речима: „Хиљаду тајни природе на које сам могао да набасам, дао бих за ову једну тајну, коју сам од ње отео, упркос свим чудима и опасностима по свој опстанак.“. Убрзо након тога, 1887. године, је успешно патентирао први асинхрони мотор.

Од проналаска, па све до данас, асинхрони мотор је најважнији погонски мотор у индустрији и другим применама у погонским машинама константне брзине. Основни разлози за то су сигурност асинхроних мотора у погону, једноставност конструкције па самим тим и економичност експлоатације и приступачна набавна цена, односно мала цена производње. Развојем енергетске електронике, електронских претварача једносмерне струје у наизменичну, полупроводничких прекидача, тиристора и снажних транзистора, асинхрони мотори почињу да освајају подручја где су у примени били искључиво мотори за једносмерну струју, јер уз одговарајуће додате могу да се понашају као погонске машине са променљивом брзином. Савремене информационе и комуникационе технологије, и све јефтинија интегрисана кола су омогућила извођење веома сложених алгоритама за управљање асинхроним моторима који, обзиром на савремене технологије производње, могу да функционишу са релативно великим нивоом динамичког одзива и уз прецизну регулацију брзине обртања.

За функционисање асинхроног мотора потребно је обезбедити обртно магнетно поље. Обзиром на заступљеност и на светске стандарде када су у питању наизменичне струје, најбољи пример за опис принципа рада је асинхрони мотор са статором од три независна намотаја спојена у звезду. Намотаји су распоређени у статору тако што је сваки просторно померен у односу на два суседна за $\frac{2\pi}{3}$, односно за 120° . Статор се напаја из трофазног система напона под чијим дејством кроз намотаје протиче трофазни систем струја које су међусобно временски померене за $\frac{T}{3}$ односно:

$$I_A = I_m \sin \omega t \quad (4.10.5)$$

$$I_B = I_m \sin \omega t \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \quad (4.10.6)$$

$$I_C = I_m \sin \omega t \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \quad (4.10.7)$$

Свака од ових струја ствара своје магнетно поље, односно магнетни флуks, око намотаја, који се због карактеристика наизменичних струја назива и пулсирајућим магнетним флуksом. Смерови струја у намотајима статора и смерови фазних магнетних флуksева су сагласни тако што је фазни магнетни флуks увек усмерен по осним линијама статора без обзира да ли је позитиван, или негативан и увек прати промену струје услед које настаје. При синусоидној промени фазне струје у намотајима, магнетни флуks фазе се такође мења у складу са синусоидном променом фазе струје. Ако претпоставимо да струје i_A , i_B и i_C имају исти фазни став, односно да се у сваком тренутку времена једнаке по интензитету и смеру, магнетни флуksеви

који су условљени тим струјама ће, такође у сваком тренутку времена, бити једнаки по вредности, а по смеру померени за угао од 120° . Укупан флуks у таквом магнетном пољу је једнак нули, а обзиром да кроз намотаје протиче електрична струја трофазог система очигледно је да магнетни флуks није једнак нули већ зависи од временске зависности промене фазних струја, односно фазних флуksева, па у тренутку $t_0 = 0$, струје i_A , i_B и i_C могу имати следеће вредности:

$$i_{A0} = 0 \quad (4.10.8)$$

$$i_{B0} = -\frac{\sqrt{3}}{2} I_m \quad (4.10.9)$$

$$i_{C0} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_m \quad (4.10.10)$$

Сагласно са овим, магнетни флуks фазе A је нула, а магнетни флуksеви фазе B и C су једнаки по амплитуди и износе:

$$|\overline{\Phi_B}| = |\overline{\Phi_C}| = \frac{\sqrt{3}}{2} \Phi_m = 0,866\Phi_m \quad (4.10.11)$$

Што је интензитет максималне вредности флуksа по фази. Обзиром да је струја i_{B0} негативна, магнетни флуks Φ_B је супротан по смеру у односу на позитиван смер фазних струја. Струја i_{C0} је позитивна па се и флуks Φ_C поклапа са позитивним смером фазних струја. Стање које настаје резултује магнетним флуksом који ствара обртно магнетно поље, а вредност и смер резултујућег магнетног флуksа настаје сабирањем пулсирајућих флуksева одговарајућих фаза. Смер струја у намотајима статора и у намотајима ротора усклађени су тако да они заједничку учествују у стварању једног флуksа чије смер је одређен правилом десног завртња, што покреће ротор мотора. Уколико посматрамо намотај кроз који протиче струја i_B и њему адекватан намотај на ротору, који су међусобно померени за 30° , у посматраном тренутку $t_0 = 0$ њихов укупни магнетни флуks Φ ће бити 1,5 пута већи од максималне вредности фазног флуksа и биће усмерен вертикално навише.

$$\Phi = 2\Phi_B \cos(30^\circ) \approx 1,5\Phi_B \quad (4.10.12)$$

Смерови струја у намотајима и магнетни флуksеви фаза, као и смер магнетних линија укупног флуksа Φ увек ће скретати за неки угао у смеру казаљке на сату, а у овом случају је тај угао једнак 30° што представља дванаести део обртаја док његова вредност остаје непромењена:

$$\Phi = 1,5\Phi \quad (4.10.13)$$

Сличан сценарио се догађа и у другачијим временским периодима, на пример у тренуцима $t_2 = \frac{T}{6}$, или $t_3 = \frac{T}{4}$. Уколико се ротор мотора обрће константном брзином,

укупни магнетни флуks остаје непромењен. За период времена од $t_0 = 0$ до $t_3 = \frac{T}{4}$, односно за четвртину периоде, флуks се окрене за 90° из чега произилази да ће за једну периоду флуks направити један обрт. Резултантни магнетни флуks Φ састављен од три пулсирајућа магнетна флуksа, и фазни намотаји статора који су просторно померени за одговарајући угао омогућавају добијање обртног магнетног поља. Смер резултантног магнетног флуksа се увек поклапа са смером магнетног флуksа оне фазе у којој је интензитет електричне струје максималан.

Брзину обртања магнетног поља називамо синхроним брзином. Ако са p означимо број пари полова, онда обртно магнетно поље у току једне периоде пређе $\frac{1}{p}$ обима круга статора. Уколико временски интервал од једне секунде поделимо на f периода, обртно магнетно поље ће у току једне секунде направити $\frac{f}{p}$ обртаја, на основу чега брзину можемо изразити као број обртаја у минути.

$$n = \frac{60f}{p} \quad (4.10.14)$$

Обзиром да је брзина обртања асинхроних мотора условљена учесталошћу фреквенције наизменичне струје, често се користе уређаји за контролу брзине обртања путем промене фреквенције наизменичне струје при чему се мора водити рачуна о односу висине напона и учестаности фреквенције. Код нас су уобичајене вредности напон висине $220V$ и учестаност од $50Hz$. Уколико желимо мотор ради са половином обртаја и фреквенцију смањимо на $20Hz$, напон такође мора бити смањен са $220V$ на $110V$ јер ће у супротном, магнетно поље бити прејако тако да ће условити појаву електричне струје вишег интензитета од предвиђеног што може довести до прегревања намотаја и топљења изолације.

4.11 Михајло Пупин – сигнали без изобличења

Пољски физичар и добитник Нобелове награде за физику, 1944. године, Исидор Исак Раби (hebrejski: יסידור איזק רבי 1898. – 1988. године) изјавио је за Михајла Пупина: „Пупинова личност била је таква да се атмосфера мењала када бисте дошли у његово друштво, или када би он дошао у собу. Постоје такви људи и ја сам их сретао и он је био такав, али на другачији начин. Када бисте се и ви нашли у прилици да се сретнете са њим, осетили сте да је то значајан догађај, а када би напустио просторију, било је као да је неко искључио електрично осветљење. Веома, веома ретка особа. Са Пупином свет је био леп.”, не кријући одушевљење његовом личношћу, а Пупинова дела су била као и његова личност, уносила су светло у живот. Михајло Идворски Пупин (1854. – 1935. године) је био научник и проналазач, професор и почасни конзул Србије у Сједињеним америчким државама, носилац југословенског одликовања Бели орао Првог реда и добитник Пулицерове награде, 1924. године за аутобиографско дело „Од пашњака до научењака“. Његов допринос науци је неизмеран, његов педагошки и образовни рад, а нарочито његов научни и истраживачки рад у областима разних наука: хемије, термодинамике и физике, технике, електротехнике, радиологије и електричних мерења.

Појава првих резултата изучавања X – зрака је мотивисала Пупина да истражи природу новооткривеног зрачења и пронађе начин за његову практичну имплементацију. Убрзо након почетка експериментисања Пупин је направио прву медицинску радиографију тако што је комбиновао постојећу технологију сакупљања рендгенских зрака уз помоћ фотографских плоча на које се додавао флуоресцентни екран што је омогућавало да део тела који је био изложен зрачењу рендгенских зрака остави отисак такав да се могу разазнати разлике у густини ткива кроз које је пролазио сноп зрака. Експерименталним путем, Пупин је пронашао фолије за рендгенско снимање које се и данас користе. Пупин је објавио своје откриће 1896. године и обелоданио технологију примене фолија за рендгенско снимање које су скраћивале време диспозиције на неколико секунди, чиме се смањивао штетни утицај снимања на пацијента, док се добијала јаснија слика и једноставнији процес снимања. Овај проналазак је омогућио практичну употребу ове технологије и дефинисао нови смер у развоју радиологије, а убрзо затим су, први пут у историји човечанства рендгенски зраци коришћени у лечењу рака дојке, што Пупина сврстава у ред пионира радиотерапије. Његов рад је био невероватан, он је за само четири месеца, 1896. године успео да дође до три фундаментална открића која су заувек променила медицинску праксу и која су утрла пут развоју радиологије.

Највећи допринос Михајла Пупина човечанству је био његов научно истраживачки рад у области телекомуникација и његов проналазак технологије која је омогућила комуникацију између физички удаљених тачака, а која је касније, њему у част, названа технологија Пупинових калемова. Пупинови калемови су патентирани 1899. године и сматра се да је тада почео период међународних телефонских комуникација. Пре његовог открића постојале су телефонске централе и могућност телефонирања у оквиру већих градова, међутим није постојала могућност да се путем телефонских линија повежу ти градови јер се електрична енергија у телефонским линијама губила са повећањем удаљености између предајних и пријемних тачака. Научници тог времена су покушавали отклонити постојеће проблеме и првенствено су мислили да губитке електричне енергије узрокује електромагнетна индукција која се ствара између проводника у непосредној близини, међутим, убрзо се дошло до закључка да сметње узрокује електрична капацитивност и електрична отпорност проводника која за последицу има појаву шума у говорним сигнаlima. Проблем је решен постављањем Пупинових калемова на одређеним растојањима дуж телефонских водова чиме су се поправљале карактеристике система у опсегу говорног сигнала. Пупинови калемови се састоје из пара индуктивних елемената, односно завојница који се постављају на проводнике чиме се појачава електромагнетна индукција што за последицу има повећање напона у проводницима, односно смањење њихове електричне отпорности. Фреквенција промене магнетног поља се уз помоћ ових калемова изједначава са опсегом фреквенција карактеристичних за људски говор, односно са опсегом ниских фреквенција, чиме се спречава јављање деформације сигнала у том опсегу фреквенција. Пупинови калемови усаглашавају резонанцију говорног сигнала са резонанцијом електромагнетне индукције, чиме се смањује неконтролисано задржавање електричне енергије у проводницима, односно њихова капацитивност. Растојање између Пупинових калемова се одређује тако да индуктивност коју уносе у систем буде тачно толика да одржи капацитивност водова непроменљивом, што резултује равнотежом која омогућава несметан ток електричне струје различитих интензитета у водовима, уз релативно мале губитке. Обично се постављају на међусобној удаљености од $1000m$ до $1700m$, са индуктивношћу од $50mH$ до $80mH$.

5. Појава електронике

Појава и развој електронике се везују за откриће електрона, међутим мали је број научних сазнања до којих се дошло скоковито, случајно, или неплански, обично су у питању године истраживања укључујући проучавање постојећих научних радова и експериментисање, што је ситуација када је у питању електроника. Прапочеци развоја електронике би могли да се вежу за научне радове Шарл Огистен де Кулона, пионира електростатике, који је 1795. године дефинисао закон о међусобном деловању наелектрисаних честица, затим на допринос Ханс Кристијан Ерстеда (дан. *Hans Christian Ørsted*, 1777. – 1851. године), данског физичара и хемичара који је 1820. године открио постојање зависности између електрицитета и магнетизма, на научне радове Андре Мари Ампера, оснивача електродинимике, који је, такође, 1820. године дефинисао однос магнетног поља и електричне струје која га ствара, закључке Георг Симон Ома о пропорционалности између интензитета електричне струје, отпорности потрошача и пада напона који се јавља на том потрошачу, који је 1827. године објавио научној заједници и широј јавности, на Закон о магнетној индукцији који је 1831. године објавио Мајкла Фарадеј, на правила о анализи електричних кола која је 1850. године дефинисао Густаф Роберт Кирхоф и коначно на једначине којима су, по први пут у историји човечанства, доследно објашњене електромагнетске појаве, односно јединство електричног и магнетног поља које је 1864. године дефинисао шкотски физичар Џејмс Клерк Максвел (енгл. *James Clerk Maxwell*, 1831. – 1879. године).

Физичари XIX века су сматрали да се електрична струја састоји од кретања наелектрисаних честица, међутим о природи тих честица су знали веома мало. Тада се сматрало да је наелектрисање непрекидна и бесконачно дељива особина наелектрисаних честица, док се данас верује да постоји најмања количина наелектрисања коју називамо елементарним наелектрисањем. Прве одговоре на питања о наелектрисању и елементарним честицама су понудили научници који су се бавили проучавањем електричног пражњења у различитим гасовима и у вакуму. Најистакнутији међу њима је био немачки физичар Карл Фердинанд Браун (нем. *Ferdinand Braun*, 1850. – 1918. године) који је направо први осцилоскоп заснован на катодној цеви и који је 1909. године добио Нобелову награду за заслуге у развоју бежичне телеграфије, Вилијам Крукс (енгл. *William Crookes*, 1832. – 1919. године) који је увидео да из катодне цеви напуњене ваздухом ниског притиска излазе зраци, на које је могуће утицати магнетним пољем, а који располажу одређеном количином механичке и топлотне енергије и немачки физичар Вилхелм Конрад Рендген (нем. *Wilhelm Conrad Röntgen*, 1845. – 1923. године), који је произвео и регистровао електромагнетске зраке који су данас познати као рендгенски зраци, а који су по њему добили име.

Најзначајнији догађај са становишта развоја електронике био је откриће електрона. Откриће до ког је дошао енглески физичар Џозеф Џон Томсон (енгл. *Joseph John Thomson*, 1856. – 1940. године) га класификује као првог истраживача који се бавио физиком елементарних честица, а његове главне заслуге, поред открића електрона, су откриће изотопа и масеног спектрометра. Он је испитивао електрично пражњење у гасовима и показао је да се катодни зраци састоје од малих, негативно наелектрисаних честица, електрона. Након што је успео да установи један од састојака атома, односно једну од субатомских честица, успео је да покаже како, поред електрона, атоми располажу и позитивно наелектрисаним честицама чија маса

далеко превазилази масу електрона. На основу својих закључака успео је да одреди апсолутну масу електрона, а каснијим радом је утврдио да електрони могу да се одвоје од атома. Његов модел атома је, са данашњег становишта, имао одређене слабости, али је његов допринос науци био довољно велики да 1906. године добије Нобелову награду за физику. Даљи наставак истраживања, након открића електрона, је остварио амерички физичар Роберт Ендрус Миликен (енгл. *Robert Andrews Millikan*, 1868. – 1953. године) који је приликом експериментисања са рендгенским зрацима успео да одреди наелектрисање електрона. За своја истраживања елементарног наелектрисања и фотоелектричног ефекта, 1923. године је добио Нобелову награду.

Још 1882. године, Томас Алва Едисон (енгл. *Thomas Alva Edison*, 1847. – 1931. године) је, приликом рада на сијалици, запазио да електрична струја тече од загрејаног влакна ка оближњој електроди, али не и у обрнутом смеру, што је створило идеју која је касније доживела и своју надоградњу, када је 1904. године енглески физичар и инжењер електротехнике, Џон Амброз Флеминг (енгл. *John Ambrose Fleming*, 1849. – 1945. године) патентирао вакумску диоду. Његов проналазак се састојао од стакленог балона из ког је био одстрањен ваздух, а у ком су се налазиле катода и анода. Катода је била у облику металног цилиндра направљеног од материјала ком је потребна релативно мала количина енергије да побуди емисију електрона са своје површине. Катода се загревала тако што је била непосредно повезана на извор електричне енергије, или посредством грејача који је био повезан са напајањем. Након загревања катоде до температуре када она почиње да емитује електроне, односно када дође до термоелектронске емисије, појављује се електронски облак у близини катоде. Уколико је и анода прикључена на извор напајања, такав да постоји разлика потенцијала између аноде и катоде, овај електронски облак ће се наћи у електричном пољу, а електрони ће започети са карактеристичним понашањем, зависно од смера поларизације.

Уколико је анода тачка са нижом потенцијалном енергијом у односу на катоду, односно уколико је диода инверзно поларисана, електрично поље је усмерено од катоде ка аноди и електрони ће се задржати у близини катоде, односно неће доћи до усмереног кретања електрона који би успоставили електричну струју кроз диоду, а уколико је анода тачка са вишим потенцијалом, односно уколико је диода директно поларисана, електрично поље ће бити усмерено од аноде према катоди и електрони ће бити привучени енергијом аноде, што ће довести до успостављања електричне струје. Што је напон директне поларизације виши, биће јаче електрично поље између електрода и више електрона ће успети да дође од аноде ка катоди, односно повећаће се интензитет електричне струје. Порастом напона, анода почиње да привлачни већи број електрона што доводи по појаве електричне струје вишег интензитета, али након достизања одређене висине напона, струја долази то тачке засићења и даља повећања напона не доводе до даљег појачања интензитета електричне струје. Интензитет електричне струје се може додатно повећати уколико се катода додатно загреје, а обзиром на конструкцију вакумске диоде, постоји велика толеранција на високе температуре. Вакумске диоде немају пробојни напон, односно он је толико висок да се практично може сматрати бесконачно великим, међутим, уколико би напон био повећан толико да вакум између електрода није довољно јак диелектрик, могао би се појавити електрични лук, односно, могло би доћи до пробоја. Вакумске диоде имају одличне карактеристике и значајно су боље од класичних полупроводничких диода, али њихова ефикасност је доста ниска, њихове

димензије су непрактичне са становишта модерних дигиталних уређаја и цена њихове израде је доста виша од цене производње класичних полупроводничких диода.

1906. године, амерички проналазач Ли де Форест (енгл. *Lee de Forest*, 1873. – 1961. године) је патентирао вакумску триоду, претечу данашњег транзистора. Ова електронска компонента се састојала од вакумске цеви направљене од стакла, или од метала у коју су смештене три електроде. Принцип рада вакумске триоде је сличан оном по ком ради вакумска диода, загревање катоде доводи до термоелектронске емисије, које привлачи позитивно наелектрисана анода, али за разлику од диоде, триода има решетку која се налази између аноде и катоде и омогућава регулацију струје у цеви. Зависно од улоге решетки она се назива првом, или контролном решетком, мрежом, или капијом и означава се са великим латиничним словом G , од енглеских речи капија, контролна капија, или мрежа (енгл. *gate, control gate, grid*). Њена улога је да контролише проток електрона, а да би у томе била ефикасна поставља се ближе катоде, чиме се омогућава да мале промена напона на решетки условљавају велике промене у броју електрона који стижу до аноде. Овај ефекат се употребљава за појачавање слабих сигнала, за прекидање сигнала, што омогућава да се вакумска триода користи као појачивач, или као прекидач. Данас на тржишту преовлађују полупроводнички транзистори јер су јефтинији, ефикаснији и мањи, међутим, још увек постоје подручја где се користе вакумске триоде. Појачивачи, прекидачи и исправљачи направљени технологијом вакумских цеви се користе у производњи савремених уређаја уколико постоји потреба за тим, или уколико постоји тржиште за такве уређаје, на пример вакумске триоде великих снага се могу користити за радио предајнике, мањих снага за појачавање звучних сигнала код квалитетних аудио појачивача, такође, вакумске компоненте се могу користити у наменској производњи када је потребно да уређаји буду отпорни на киселост средине, високе температуре, или на радиоактивно зрачење.

5.1 Први електронски компјутери

Још, давне, 1939. године пројектован је први компјутер. Пројекат никада није у потпуности реализован, бар не јавно, а 1942. године пројекат је напуштен. Овај компјутер је забележен у историји под називом Атанасов-Бери компјутер (енгл. *Atanasoff-Berry computer*), или *ABC*, по презименима његових твораца: професора математике и физике Џона Винсента Атанасова (енгл. *John Vincent Atanasoff*, 1903. – 1995. године) и његовог студента Клифорда Берија (енгл. *Clifford Berry*, 1918. – 1963. године). Техничка решења која коришћена у реализацији овог компјутера су била у складу са тадашњом технологијом, што је битно успоравало реализацију пројекта, док је почетак Другог светског рата коначно прекинуо развој. Поред тога, историчари који се баве компјутерима сматрају да резултат овог пројекта није био компјутер, обзиром да *ABC* није био програмабилан, односно, обзиром да није имао концепт који би могао да демонстрира независност у раду. Међутим, *ABC* је био прва машина која је могла да извршава логичке и аритметичке операције. Атанасов-Бери компјутер је могао да решава системе до 29 линеарних једначина и у већем броју случајева је решење система било исто, односно тачно, међутим све до самог краја пројекта, његов улазно излазни механизам није био довољно поуздан.

Први поуздани компјутери су настали у периоду током и након Другог светског рата, били су великих димензија, било им је потребно пуно електричне енергије и

често су били ван функције због кварова. Њихову основу су чиниле електронске цеви, односно вакумске цеви за аритметичко логичке операције и магнетски добоши за складиштење података. Магнетски добоши су претеча данашњих магнетних дискова, били су направљени од алуминијумских цилиндара, пречника од 7cm до 50cm, висине од 20cm до 50cm центиметара на које је неношен магнетни филм у ком су се, уз помоћ магнетних глава, уписивали и учитавали подаци док се цилиндар окретао константном угаоном брзином, од 1000 до 20000 обртаја у минути. Ови компјутери су били програмабилни, а за програмирање њиховог рада коришћен је машински језик. Најпознатији од ових компјутера су „ENIAC“ и „EDVAC“. Током Другог светског рата, војска Сједињених америчких држава је ангажовала тим са универзитета у Пенсилванији да направи компјутер за аутоматско израчунавање балистичких података. Пројекат је назван „ENIAC“ (енгл. *Electronic Numerical Integrator And Computer*), започет је 1942. године, а 1946. године је обелодањен рад на пројекту и његова успешна реализација, док је сам компјутер, према званичним подацима, био у функцији све до 1955. године.

ENIAC је био електронски компјутер опште намене, а програмирање се остваривало повезивањем каблова и прекидача, док су се за унос података и за њихово ишчитавање користиле бушене картице. Бушене картице су биле специфични медиј за складиштење података, а чинио их је картон који је на предвиђеним местима могао да буде пробушен, или непробушен. Предефинисане локације са присуством, односно одсуством рупе су чувале податке, а овако складиштење података је било погодно за снимање и накнадну обраду. ENIAC је настао по замисли и дизајну Џона Вилијама Мочлија (енгл. *John William Mauchly*, 1907. – 1980. године) и Џона Преспера Екерта (енгл. *John Presper Eckert*, 1919. – 1995. године) са Пенсилванијског универзитета, а 1944. године, овом тиму научника се придружује Џон фон Нојман (мађ. *Margittai Neumann Janos Lajos*, 1903. – 1957. године) након чега је започет нови пројекат под називом „EDVAC“. EDVAC (енгл. *Electronic Discrete Variable Automatic Computer*) је био доста напреднији од свог претходника обзором да су се код њега и програми и подаци могли чувати у меморији чим се значајно повећавала његова програмабилност, а овакав принцип реализације и употребе компјутера се задржао до данашњих дана.

5.2 Откриће транзистора

Први транзистор је реализован 1947. године а његови творци су били Вилијам Шокли (енгл. *William Bradford Shockley*, 1910. – 1989. године), Џон Бардин (енгл. *John Bardeen*, 1908. – 1991. године) и Валтер Хаусер Бретејн (енгл. *Walter Houser Brattain*, 1902. – 1987. године), након чега су добили Нобелову награду за истраживања полупроводника и откриће транзисторског ефекта. Први назив за транзистор је био кристална триода, обзиром да је по изгледу био сличан вакумској триоди, међутим овај активни полупроводнички елемент је касније добио назив који је и данас у употреби. – транзистор, што у изворном облику значи променљиви отпорник (енгл. *transfer, resistor*). Први транзистори су били направљени од полупроводничког материјала германијума, а касније је, због повољних особина, у употребу уведен силицијум. Зависно од начина примене, од конструкције и начина допирања, транзистори у електричном колу могу имати улогу појачивача, прекидача, елемента за стабилизацију напона, односно елемента за модулацију сигнала.

6. Појава дигиталних технологија

6.1 Интегрисана кола

1959. године, инжењер електротехнике Џек Килби (енгл. *Jack Kilby*, 1923. – 2005. године) направио је прво интегрисано коло. Његов патент је реализован на малој плочи направљеној од германијума из које су вили проводници, која је била залепљена на комад стакла. Јавна презентација овог интегрисаног кола је била осмишљена тако што је на крајеве одређених проводника био повезан осцилоскоп који је омогућавао да се прате промене електричног напона. Презентација није добро протекла, али је Џек Килби за свој патент добио признање четрдесет године касније када је 2000. године добио Нобелову награду за физику и за прво интегрисано коло које су чинили транзистор, неколико диода и кондензатора. Интегрисана кола су унапређивана, а временом су постала позната као микро чипови. Први микро чип је патентирао Роберт Нортон Нојс (енгл. *Robert Norton Noyce*, 1927. – 1990. године) тако што је допирао делове силицијумске плочице на коју је додао потребне компоненте, а све целине је повезивао уз помоћ алуминијумских водова. Ова технологија је била револуционарна јер је омогућила производњу електронских компоненти по врло ниској цени, које су имале веома ниску употребну цену, оптималну минијатуризацију и значајно смањене могућности за појаву кварова услед чињенице да је и интензитет потребне електричне струје био нижи, обзиром на постигнуту минијатуризацију.

Другу половину двадесетог века обележио је значајан развој микро чипова и разних техничких решења која се заснивају на њима, у почетку се број интегрисаних транзистора бројао стотинама, док је тај број крајем осамдесетих достигао неколико стотина хиљада. Интензивни развој електронских компоненти је објашњен законом који је дефинисао Гордон Ерл Мур (енгл. *Gordon Earle Moore*, 1929. године) који је по њему добио име Муров закон. По овом закону, број транзистора у микро чиповима се дуплира сваких 18 до 24 месеца, па самим тим и могућности електронских уређаја у чијем су саставу. Овом закону су приписивали краткорочну одрживост јер се сматрало да ће производња микро чипова, када је у питању број транзистора, доћи до тачке засићења, међутим овај закон још увек важи и број транзистора непрестано расте захваљујући новим технологијама производње које омогућавају минијатуризацију виших нивоа. Настанак микро чипова је обликовао живот којим данас живимо. Приви сложени микро чип је направљен 1971. године, интеграцијом 2300 транзистора и добио назив микропроцесор, што је било оправдано чињеницом да је имао могућности за обављање аритметичких и логичких операција, а чиниле су га централна процесорска јединица, меморија за брз дохват података, односно кеш меморија и контролери за улазно излазне операције. Интензитет раста броја транзистора је био такав да се дуплирао на сваке две године, све до појаве персоналних компјутера, што је додатно поспешило производњу микропроцесора, од када се тај број дуплира на сваких 18 месеци.

6.2 Кућни компјутери

1981. године, америчка компанија *IBM* је произвела први компјутер за кућну употребу, односно први компјутер који је био доступан на тржишту за оне који су то себи могли да приуште. Следећи њихов пример, појавила су се бројна предузећа за

производњу кућних компјутера, који су временом постали приступачни и доступни свима. Код нас су, у периоду осамдесетих година, били популарни кућни компјутери као што су *ZX 81*, *ZX Spectrum*, *Commodore 64*, *Atari ST*, *Amiga 500* и други, док су за оне који су могли да их приуште, на располагању били *IBM PC* и *Apple Macintosh*. Посебно пријатан осећај буди чињеница да је тада код нас постојала компјутерска индустрија, која је производила компјутере. Познати домаћи компјутери су били: *GALAKSIJA*, *Pekom*, *Tim 011*, *Oric Nova*, а највише се истицао *Ei Lira* који је имао процесор *Intel 8086*, графичку карту, *CGA* излаз за монитор (енгл. *Color Graphics Adapter*) и радни такт од *4,77MHz* до *10MHz* зависно од тога да ли је био у нормалном или у брзом режиму рада.

1984. године, америчка компанија *Apple* је произвела компјутер под именом *Macintosh* као одговор својој конкурентици на њихов *IBM PC*. Овај догађај је довео до трке за превласт на тржишту и до значајног развоја информационо комуникационих технологија, умрежавања компјутера и компјутерске опреме, до појаве бежичних информациононих технологија, настанка Интернета, појаве савремених софтверских решења, графичког корисничког интерфејса и појаве периферијских уређаја који су, у комбинацији са софтверским решењима, омогућили употребу компјутера свима који то желе. Савремени компјутери, се увелико красе епитетом „паметни“, а постоји тенденција за развојем компјутера који ће имати могућност учења. Одавно су присутне технологије за препознавање гласа и лица које су комерцијално доступне и које нису привилегије богатих, или повлашћених, већ су саставни део јефтиних телефона, или преносних компјутера. Савремене тенденције у развоју компјутера се везују за имплементацију технологија које ће моћи да се прилагоде гласовним командама анализирајући целе реченице, тон којим су речене, контекст у ком су се нашле, говор тела који их прати и да се самостално организују у процесу извршавања добијених наредби. Као и до сада, појава првих „интелигентних“ уређаја ће покренути лавину производње сличних што ће неминовно довести до појаве кућних робота, који би временом могли да постану довољно софистицирани да помажу у кућним пословима, да помажу особама са посебним потребама, или да учествују у разговорима правећи људима друштво.

7. Закључак

Наука о електротехници сажима спонтане и доследне информације о природи електричних појава у скуп природних закона. Закони се непрестано развијају док тестирамо и одбацујемо оне погрешне претпоставке. Баш као што је човек еволуирао кроз трансформацију биолошких карактеристика, наше схватање електричних појава еволуира обзиром наше тумачење информација на које наилазимо јер располажемо прецизним законима о електричним појавама. Обзиром да поседујемо знања, ми непрестано истражујемо њихово значење како би смо дефинисали електричне појаве и како би смо знали шта је могуће, а шта није. Ми тежимо доследности, а ако немамо сазнања о неким појавама, ми настојимо да пронађемо објашњења која се уклапају у наш опис стварности и тако генеришемо информације која објашњавају те појаве. Чврсто се држимо закона које су, давно пре нас, дефинисали људи који су били посвећени својим циљевима, чија истраживања су била њихове животне мисије.

Покушавамо да попунимо празнине у нашем знању и у нашем схватању природе, у томе смо доследни и живимо у друштву које негује културу у којој 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, али се са сваким новим проналаском, или са сваким новим сазнањем удаљавамо од сопствене природе. Сви ћемо се сложити да Свет никада раније, 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, међутим, сваким даном смо све више удаљени од наше Природе. Научили смо да постављамо питања на која можемо добити једноставне и једнозначне одговоре, као да не желимо да сагледамо ширу слику ствари и нашу истинску Природу.

Живимо у ери информационих технологија, а негујемо систем у ком информације нестају у мноштву података којима смо окружени и од којих смо уморни, због чега и тежимо једноставним одговорима, док истовремено повећавамо површину чипова на којима су транзистори све мањих димензија, док тежимо смањењу потрошње електронских компоненти, а негујемо културу употребе неколико електронских уређаја истовремено, развијамо нове технологије, нове полупроводничке материјале, пластичне транзисторе, комбинујемо органске материје у електронским склоповима, развијамо технологије минијатуризације које се приближавају молекуларном нивоу, док благонаклоно гледамо на централизацију података и концентрацију производње електронских кола у мали број центара. Сигурно је да је технолошки развој дошао у фазу у којој је сам себи циљ, што је погрешно јер би у основи требале да буду потребе људи. Чињеница је и да људи бирају шта желе, што утиче на технолошки развој, али чињеница је и да људи, већ дужи период, исто тако слушају шта је то што је добро за њих и шта је то што желе, тако да се наши избори свде на оно што је неминовно у технолошко техничком развоју. Чињеница је да ће проћи још доста времена до тренутка када ће људи променити став и тада ће се, можда, појавити неки нови Никола Тесла, или неки нови Михајло Пупин, нови људи који ће имати снаге да пронађу одговоре на питања која нико не поставља, а која одувек чекају да на њих буде одговорено и који ће наћи начин да унесу ново светло у наше животе.

Литература

1. **Електротехника**,
<https://sr.wikipedia.org/sr/%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0>
2. **Развој електротехнике и електронике**,
http://timerime.com/es/linea_de_tiempo/2916549/+++/
3. **Платон**,
<https://sr.wikipedia.org/sr/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BD>
4. Др Поповић М., **ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНИКЕ**, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, Београд, 2006. године
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. **William Gilbert**, [https://en.wikipedia.org/wiki/William_Gilbert_\(astronomer\)](https://en.wikipedia.org/wiki/William_Gilbert_(astronomer))
7. **Бенџамин Франклин**, <http://elementarium.cpn.rs/ideje/elektricitet/>
8. **GROM od antičkih mitova do današnjih istraživanja**,
<http://www.niri.rs/grom.html>
9. **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
10. **Андре Мари Ампер**,
https://sr.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B4%D1%80%D0%B5-%D0%9C%D0%B0%D1%80%D0%B8_%D0%90%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%80
11. **Георг Ом**,
https://sr.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B3_%D0%9E%D0%BC
12. **Мајкл Фарадеј**,
https://sr.wikipedia.org/sr/%D0%9C%D0%B0%D1%98%D0%BA%D0%BB_%D0%A4%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%B5%D1%98
13. **Џејмс Прескот Цул**,
https://sr.wikipedia.org/wiki/%D0%8F%D0%B5%D1%98%D0%BC%D1%81_%D0%8F%D1%83%D0%BB
14. **Густаф Роберт Кирхоф**,
https://sr.wikipedia.org/sr/%D0%93%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%84_%D0%9A%D0%B8%D1%80%D1%85%D0%BE%D1%84
15. Никола Тесла, **МОЈИ ИЗУМИ**, Антологија СРПСКЕ КЊИЖЕВНОСТИ, дигитално издање, 2011. године
16. **Никола Тесла**,
https://sr.wikipedia.org/sr/%D0%9D%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B0_%D0%A2%D0%B5%D1%81%D0%BB%D0%B0
17. **Михајло Пупин**,
https://sr.wikipedia.org/sr/%D0%9C%D0%B8%D1%85%D0%B0%D1%98%D0%BB%D0%BE_%D0%9F%D1%83%D0%BF%D0%B8%D0%BD
18. **Sa Pupinom je svet bio lep**, <http://www.mojmod.rs/mihajlo-pupin>

19. Др Дрндаревић В., **Увод у електронику – скрипте**, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, Београд
20. **Џон Атанасов**,
https://sr.wikipedia.org/wiki/%D0%8F%D0%BE%D0%BD_%D0%90%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%BE%D0%B2
21. **Clifford Berry**, https://en.wikipedia.org/wiki/Clifford_Berry
22. **John Mauchly**, https://en.wikipedia.org/wiki/John_Mauchly
23. **J. Presper Eckert**, https://en.wikipedia.org/wiki/J._Presper_Eckert
24. **Џон фон Нојман**,
https://sr.wikipedia.org/wiki/%D0%8F%D0%BE%D0%BD_%D1%84%D0%BE%D0%BD_%D0%9D%D0%BE%D1%98%D0%BC%D0%B0%D0%BD
25. **William Shockley**, https://en.wikipedia.org/wiki/William_Shockley
26. **John Bardeen**, https://en.wikipedia.org/wiki/John_Bardeen
27. **Walter Houser Brattain**, https://en.wikipedia.org/wiki/Walter_Houser_Brattain
28. **Jack Kilby**, https://en.wikipedia.org/wiki/Jack_Kilby
29. **Gordon Moore**, https://en.wikipedia.org/wiki/Gordon_Moore

Списак слика

Слика 1 Правац и смер силе истоимених и разноимених наелектрисања	17
Слика 2 Смер електричне струје, магнетног поља и магнетне индукције.....	20
Слика 3 Смерови електричних струја и магнетног поља	21

Списак табела

Табела 1 Диелектричне константе	18
---------------------------------------	----