

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Индустијски инжењеринг

Предмет: Енергија и животна средина

Број индекса: 68/2007

Никола П. Радосављевић

**Развој лабораторијског демо модела Теслиног
висконапонског трансформатора за потребе
универзитетског и средњошколског
образовања**

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. др Милун Бабић, ред. проф. - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

САДРЖАЈ

РЕЗИМЕ	1
УВОД	3
1.0 НИКОЛА ТЕСЛА	4
1.1 Рани живот и породица	4
1.2 Школовање	4
2.0 ПРВИ ПАТЕНТИ ИЗ НАИЗМЕНИЧНИХ СТРУЈА	6
2.1 Прелазак океана са препоруком Едисону	6
2.2 Светска изложба у Чикагу	7
3.0 ТЕСЛИН ВИСОКОНАПОНСКИ ТРАНСФОРМАТОР	10
3.1 Откриће	10
3.2 Бежични пренос енергије	13
3.3 Колорадо Спрингс лабораторија	15
3.4 На Лонг Ајленду	18
3.5 Математички прорачун ТВТ	22
3.6 Дужина варнице	22
3.7 Изједначавање трансформатора и кондензатора	22
3.8 Капацитивност кондензатора	23
3.9 Фреквенција осцилаторног кола	24
3.10 Индуктивност хеликоидног калема	24
3.11 Израчунавање капацитивности сфере	25
4.0 ДАНАШЊА ПРИМЕНА ТВТ	27
4.1 Едукација и забава	27
5.0 РАЗВОЈ ЛАБОРАТОРИЈСКОГ ДЕМО МОДЕЛА ТВТ	28
5.1 Кратак опис израде модела	28
5.2 Високонапонски трансформатор демо модела ТВТ	29
5.3 Варничар демо модела ТВТ	29
5.4 Напајање демо модела ТВТ	30
5.5 Високонапонски кондензатор демо модела ТВТ	31

5.6 Секундарни и примарни намотај демо модела ТВТ	32
6.0 УПУТСТВО ЗА УПОТРЕБУ УРЕЂАЈА	33
7.0 ЗАКЉУЧАК	34
8.0 ЛИТЕРАТУРА	35

РЕЗИМЕ

Тема овог завршног рада је развој лабораторијског демо модела Теслиног високонапонског трансформатора за потребе универзитетског и средњошколског образовања.

Теслин трансформатор је посебан тип трансформатора кога, у основи чини електрично коло са резонантним трансформатором и ваздушним језгром, а назив је добио по свом изумитељу Николи Тесли, који га је изумео 1891. године. Користи се за производњу високог напона високе фреквенције.

Теслин трансформатор је прво коришћен за експерименте у производњи муња, истраживању електричног осветљења, производњи рендгенских зрака и за бежични пренос електричних сигнала и енергије на даљину.

У завршном делу рада приказане су слике лабораторијског демо модела Теслиног трансформатора, описана његова техничка структура и дате главне енергетске компоненте. Теслин лабораторијски демо модел високонапонског трансформатора сам урадио у својој режији, а он је од стране колега прве године нашег Факултета тестиран и испитан, у оквиру израде семинарског рада из предмета Истраживачке методе у машинству, и јавно приказан пред великим бројем студената друге године основних студија и прве године мастер студија.

ABSTRACT

The theme of this final work is the development of a laboratory demo model Tesla high-voltage transformer for university and high school education.

Tesla coil is a special type of transformer, basically makes a circuit with a resonant transformer and air core, and is named after its inventor Nikola Tesla, who invented it in 1891. year. It is used to produce high voltage high frequency current.

Tesla coil was used for the first experiments in the production of lightning, the research of electric lighting, the X-ray and the wireless transmission of electrical signals and power over long distances.

Images of a laboratory demo model of a Tesla coil are presented in the last section of this paper, its technical structure and main energy components. Tesla's lab demo model of the high-voltage transformer I did in my direction, and its tested and examined by students of our

Faculty, in the preparation of the seminar in the subject Research Methods in Mechanical Engineering, and shown in front of many students.

Увод

У овом завршном раду је, најпре, у кратким цртама представљен живот и стваралаштво једног од највећих научника и проналазача свих времена, Николе Тесле, чијем се лику и делу посвећује много пажње на нашем Факултету. Као куриозитет, наводим да је код нас настала и прва студентска монографија на свету, коју су урадили студенти прве године у оквиру предмета “Научно – истраживачки изазови 21. века”.

У поглављу 1.0 и 2.0 су приказани основни детаљи из детињства великог научника, приказана његова породица и одрастање у малом месту Смиљану у Лици. Затим је дат осврт на његово школовање, селидбу у Госпић и тешке болести које је преживео као дете. Такође су изнети неки сегменти који се односе на његов одлазак у Америку, и дата ревија његових најзначајних патената у области наизменичних струја.

У поглављу 3.0 обрађен је један од најпознатијих патената чувеног научника, Теслин високонапонски трансформатор. Изнете су чињенице које су везане за откриће овог трансформатора, области у којима се он користи и техничка конструкција уређаја, математички прорачуни, са посебним освртом на примену Теслиног трансформатора у бежичном преносу енергије, а затим је скренута пажња на уређаје данашњице који су засновани на Теслином високонапонском трансформатору.

У поглављу 4.0 је детаљније описана важност данашње примене Теслиног високонапонског трансформатора, у области едукације и забаве.

У поглављу 5.0 и 6.0 је дат опис израде демо лабораторијског модела Теслиног високонапонског трансформатора, његове електричне компоненте и упутство за употребу и евентуалну израду уређаја.

У поглављу 7.0 изнет је закључак, а у поглављу 8.0 коришћена литература.

1.0 Никола Тесла

1.1 Рани живот и породица

Никола Тесла је рођен у Смиљану у Лици, од оца Милутина свештеника Српске православне цркве, и мајке Георгине, у некадашњој Војној крајини Аустријског царства. Крштен је у Српској православној цркви Св. Петра и Павла у Смиљану. Према крштеници рођен је 28. јуна 1856. године.

Николин отац, свештеник, је био надарени писац и поета који је поседовао богату библиотеку у којој је и Никола проводио своје детињство читајући и учећи стране језике.

Николина мајка је била вредна жена са много талената. Била је врло креативна и својим изумима је олакшавала живот на селу. Сматра се да је Никола баш од мајке наследио склоност ка истраживачком раду. Теслини родитељи су, осим њега, имали сина Данета и ћерке Ангелину и Милку, које су биле старије од Николе, и Марицу најмлађе дете у породици Тесла. Дане је погинуо при паду са коња када је Никола имао пет година, и то је оставило велики траг на породицу. Верује се да је Данетова смрт основни разлог што отац није дозвољавао Николи да похађа техничку школу далеко од куће.

1.2 Школовање

Први разред основне школе похађао је у родном Смиљану, пошто се породица сели 1862. године у Госпић, преостала три разреда и трогодишњу Нижу реалну гимназију завршио је у Госпићу.

У Госпићу је Никола први пут скренуо пажњу на себе када је један трговац организовао ватрогасну вежбу. На показној вежби, на којој је присуствовало много Госпићана, ватрогасци нису успели да испумпају воду из реке Лике. Стручњаци су покушали да открију зашто пумпа не вуче воду, али безуспешно. Тесла који је тада имао седам или осам година, је инстинктивно решио проблем тако што је ушао у реку и отпушио други крај црева. Тај дан је слављен као херој дана.

Тешко се разболео на крају трећег разреда школе 1870. године. Касније је отишао у Раковац крај Карловаца да заврши још три разреда Велике реалне гимназије. Матурирао је 24. јула 1873. године у групи од свега седам ученика са врло добрим успехом. Након завршене матуре се вратио у Госпић, и већ први дан разболео од колере. Боловао је девет месеци. У тим околностима је успео да убеди оца да уместо богословије упише студије технике.

Пошто је оздравио, отац га шаље ујаку проти Томи Мандићу, у Томингај код Грачца, да боравком на селу и планини прикупља снагу за напоре који га очекују. На студије електротехнике креће 1875. године, две године након матуре. Уписује се у

политехничку школу у Грацу, у јужној Штајерској (данас Аустрија). Тада му је било 19 година.

Спава веома мало, свега 4 сата дневно и све слободно време проводи у учењу. Испите полаже са највишим оценама. Још тада га је заинтересовала могућност примене наизменичне струје. Након прве године студија изостаје стипендија Царско-краљевске генерал-команде. Два пута се обраћа за стипендију славној Матици српској у Новом Саду и оба пута бива одбијен. Јануара 1880. године, одлази у Праг да оконча студије. Тамо не може да се упише на Карлов универзитет јер у средњој школи није учио грчки. Наредне године, свестан да његови ближњи подносе велику жртву због њега, решава да их ослободи тог терета и напушта студије.



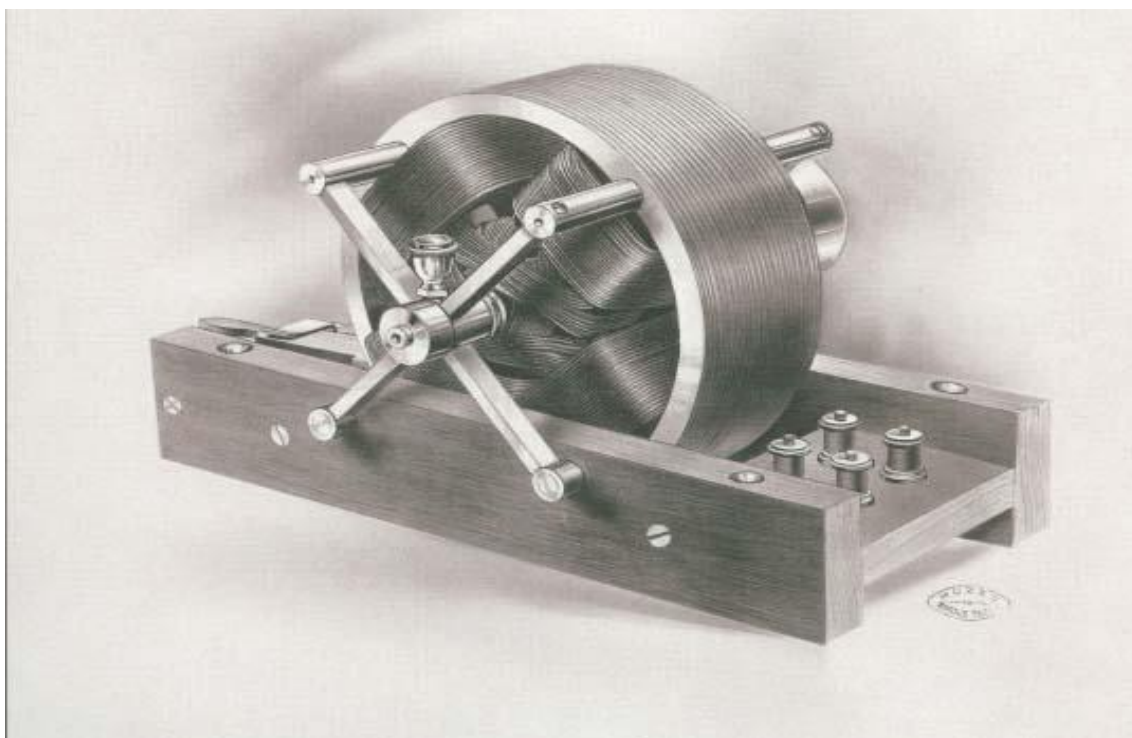
Слика 1.1 : Никола Тесла, 1879. године

2.0 Први патенти из наизменичних струја

2.1 Прелазак океана са препоруком Едисону

Тесла је дошао у Америку 6. јуна 1884. године у Њујорк са писмом препоруке које је добио од претходног шефа Чарлса Бечелора. У препоруци је Бечелор написао: „Ја познајем два велика човека, ви сте један од њих, а други је овај млади човек“. Едисон је запослио Теслу у својој фирми „Едисонове машине“ Тесла је убрзо напредовао, и решавао најкомпликованије проблеме у компанији. Тесли је понуђено да уради потпуно репројектовање генератора једносмерне струје Едисонове компаније.

Пошто је Тесла описао природу добитака од његове конструкције, Едисон му је понудио 50 000 долара (1,1 милион данас) када све буде успешно завршено и направљено. Тесла је радио близу годину дана на новим конструкцијама и Едисоновој компанији донео неколико патената који су потом зарадили невероватан профит. Када је потом Тесла питао Едисона о обећаних 50 000 долара, Едисон му је одговорио: „Тесла ви не разумете наш амерички смисао за хумор“. Тесла је дао моментални отказ.



Слика 1.2: Теслин индукциони мотор

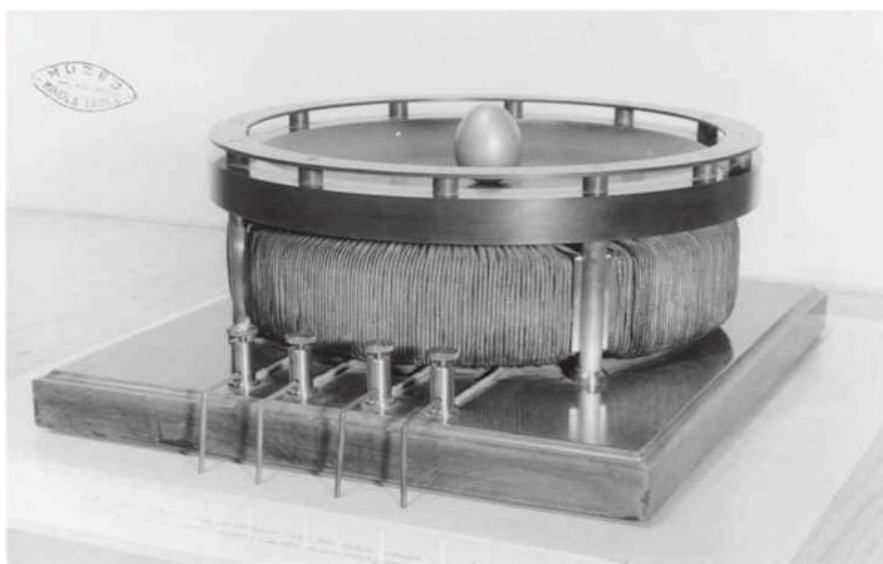
Године 1886. Тесла у Њујорку оснива своју компанију, Тесла електрично осветљење и производња (Tesla electric light and manufacturing). Првобитни оснивачи се нису сложили са Теслом око његових планова за увођење мотора на наизменичну струју и на крају је остао без финансијера и компаније.

Тесла је потом радио у Њујорку као обичан радник од 1886. до 1887. године да би се прехранио и сакупио новац за нови подухват. Први електромотор на наизменичну струју без четкица (слика 1.2) је успео да конструише 1887. године и демонстрирао га пред „Америчким друштвом електроинжењера“ (American Institute of Electrical Engineers, данас IEEE) 1888. године.

Исте године је развио принципе свог високонапонског трансформатора и почео рад са Џорџом Вестингхаусом у лабораторијама његове фирме. Вестингхаус га је послушао у вези његових идеја о вишефазним системима који би омогућили пренос наизменичне струје на велика растојања.

2.2 Светска изложба у Чикагу

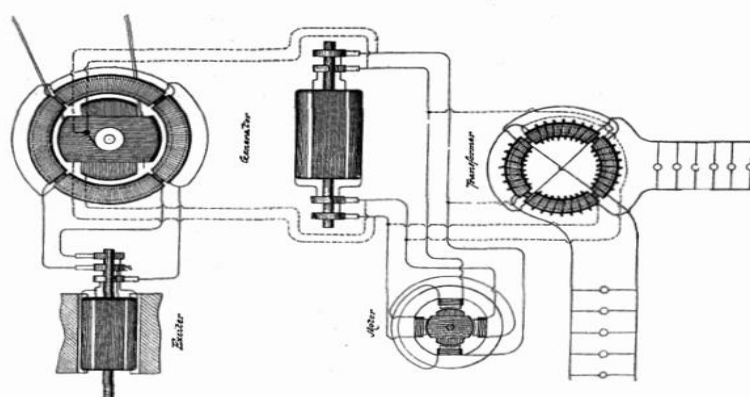
Светска изложба 1893. године у Чикагу је била међународна изложба на којој је први пут цео салон издвојен само за електрична достигнућа. То је био историјски догађај јер су Тесла и Вестингхаус представили посетиоцима свој систем наизменичне струје осветљавајући целу изложбу. Приказане су Теслине флуоресцентне сијалице и сијалице са једним изводом. Тесла је објаснио принцип обртног магнетног поља и индукционог мотора изазивајући дивљење при демонстрацији обртања бакарног јајета, што је представљено као Колумбово јаје (слика 1.3). То је коришћено да се објасни принцип обртног магнетног поља.



Слика 1.3: Теслин индукциони мотор са ротором у облику јајета (1893)

Те исте 1893. године после Светске изложбе у Чикагу, донета је одлука о начину искоришћавања хидропотенцијала Нијагариних водопада. То је уједно и била одлука којој се Тесла надао. Међународна комисија за Нијагарине водопаде, на чијем челу је био чувени физичар Лорд Келвин, је 1893. године прихватила понуде компанија које су предложиле употребу Теслиног полифазног система.

Прва електрана изграђена је на око 2,5 километара узводно од водопада. Августа 1895. године ова електрана је испоручила прву електричну енергију до суседног града Нијагарини водопади. Прави подвиг ових пионира је забележен одмах следеће године. Пошто је Вестингхаусова компанија ангажована на имплементацији система преноса, заснованог на систему наизменичних струја (слика 1.4), успостављен је далековод до града Бафала.



Слика 1.4: Теслин систем за производњу наизменичне струје и пренос на велику даљину

Удаљеност је била 35 километара од електране. Коришћени су трансформатори снаге око један мегават, а напон на далеководима је износио једанаест хиљада волти. Шеснаестог новембра 1896. године око поноћи је стигла прва количина електричне енергије у Бафало. Ово је представљало први пренос електричне енергије на даљину у комерцијалне сврхе. Репортер локалних новина “Niagara Falls Gazette” изјавио је тог дана: “Укључење прекидача у великој електрани на Нијагари затворило је електрично коло што је проузроковало да река Нијагара потече узбрдо.”

Прву снагу изручену Бафалу, 750 киловата, добила је градска железничка компанија, али је убрзо локална електрична компанија добила пет пута веће поруцбине од становника Бафала. Број генератора се касније повећао, у наредних пет година, на десет од првобитних три, а мрежа се продужила до Њујорка. Електрична мрежа се ширила градом, а Бродвеј је сијао обасјан електричним светиљкама напајаних наизменичном струјом. Чак је и у Њујорку Едисонов систем углавном замењен наизменичном струјом.

Ипак није све било на месту. Мукотрпни сукоби Едисонове и Вестингхаусове компаније осиромашиле су обе стране и Џорџ Вестингхаус се обратио Тесли за помоћ.

Наиме, Никола Тесла је, према уговору о продаји патената са Вестингхаусом, требао да добија по 2,5 долара за сваких 750 вати који би потекли из његових изума. Ово би значило банкрот за већ осиромашеног Вестингхауса. Тесла је свој уговор поцепао у знак захвалности човеку који је разумео његово визионарство.

Данас на Нијагари, која је у светским размерама међу већим изворима хидроелектрике, постоји више електрана, како на канадској тако и на америчкој страни. Укупна производња достиже бројку од 4,4 милиона киловата електричне енергије. На Нијагариним водопадима се на америчкој страни, са правом, налази споменик Николи Тесли (слика 1.5).



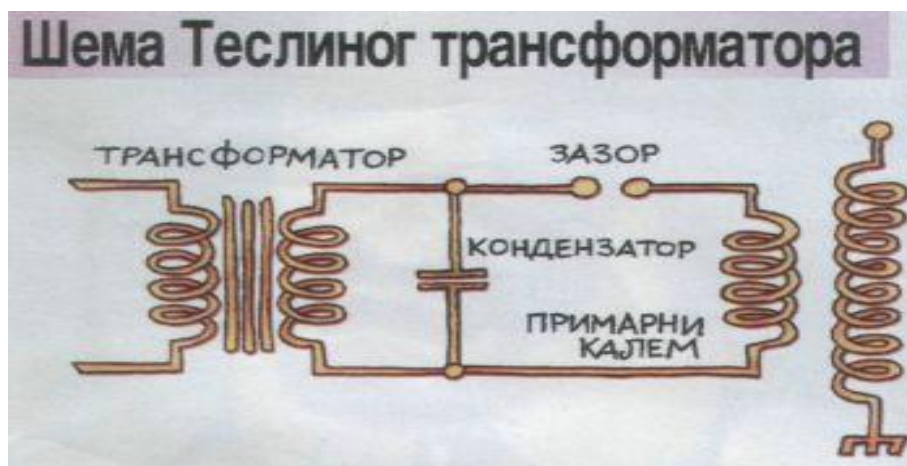
Слика 1.5: Споменик Николи Тесли на Нијагариним водопадима

3.0 Теслин високонапонски трансформатор

3.1 Откриће

С обзиром на значај ове направе и далекосежност њене примене, потребно је да више пажње посветимо овом открићу.

Индуктивности и капацитивности имају значајне улоге у колу наизменичне струје, а њихова присутност још је утицајнија када су у питању струје високих фреквенција. Тесла се посебно одушевљавао улогом капацитивности и индуктивности у резонантним колима и у њима сагледао велике могућности. Користећи се познатим ефектом осцилаторног пражњења напуњене Лајденске боце (кондезатора) кроз индуктивну завојницу (калем) преко електричне варнице, Тесла је заменом калема трансформатором без гвожђа, са лабаво индуктивно спрегнутим секундаром, створио нови тип генератора, који је и данас познат по називима „Теслин калем” или “Теслин високонапонски трансформатор” (слика 1.6). Поменути називи за исту направу су одомаћени мада нису довољно прецизни, јер се назив “Теслин високонапонски трансформатор” користи за опис трансформатора за струје високих фреквенција, који има лабаво спрегнуто коло примара и секундара и нема гвозденог језгра као уобичајени трансформатори за струје ниских фреквенција. Комплетан Теслин високонапонски трансформатор садржи и посебно напојно коло са разним облицима варничара, зависно од тога да ли се трансформатор напаја из кола једносмерне или наизменичне струје индустријских фреквенција. Значајно је поменути да је Тесла од самог настанка овог новог генератора високих фреквенција правио секундарни калем са великим бројем намотаја без посебно додате капацитивности коју има слободни терминал који се некада завршава металном куглом.



Слика 1.6: Проста шема Теслиног високонапонског трансформатора

Рад Теслиног високонапонског трансформатора релативно се лако објашњава у главним цртама, мада је детаљан опис рада изузетно сложен. У анализи која следи претпоставићемо да су кола примара и секундара подешена на исту резонантну фреквенцију која се одређује из Томсоновог обрасца $\omega_0 = 1/\sqrt{L_p C_p} = 1/\sqrt{L_s C_s}$, што је и Тесла настојао да оствари у својим апаратима. Претпоставимо сада да се укључи побудни извор који пуни кондезатор примарног кола C_p до неког одређеног напона V_c , када се у њему акумулира енергија $C_p V_c^2/2$. Максимални напон на крајевима кондезатора одређује пробојни напон варничара (који чине две металне електроде на малом растојању) (слика 1.7).

У моменту достизања максималног напона долази до пробоја варничног процепа и почиње пражњење кондезатора преко примарног калема Теслиног високонапонског трансформатора. Пражњење је осцилаторно, а облик генерисане струје одређују индуктивности и капацитивности примара и секундара трансформатора и међусобна спрега примарног и секундарног кола. Ако варница дуго траје долази до преласка енергије примара у секундар и обратно. У том случају добијене осцилације су две пригушене синусоиде једна изнад и друга испод кружне учестаности ω_0 . Што је јача спрега, разлика ових учестаности је већа. Ако нема нове побуде – нове допуне енергије из спољњег кола кондезатора, осцилације престају када се утроши почетна енергија кондезатора тако да се варница гаси. Много повољнији случај је када се варница у примарном колу угаси по преласку енергије у секундар. У овом случају нема даљих губитака у примару и секундар наставља да осцилује на учестаности секундарног кола.

Јака спрега примара и секундара скраћује време преноса енергије из примара у секундар и осцилације секундара су ближе континуалној синусоидалној струји осим у интервалу преноса енергије из примара у секундар када се генеришу две пригушене синусоидалне струје, једна изнад и друга испод кружне учесталости ω_0 .



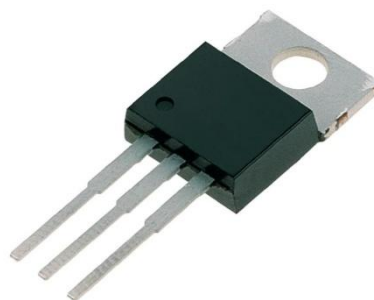
Слика 1.7: Варничар, проста конструкција

Од тренутка када се примарно коло раскида гашењем варнице, престаје осциловање у примарном колу и кондезатор примара се поново допуњава енергијом из мреже. Када напон на кондезатору примара поново достигне напон V_c , успоставља се примарно коло и процес генерисања струја високих фреквенција се понавља. У пракси Тесла је за одређено секундарно коло трансформатора мењао капацитивност и индуктивност примара док варнице у секундару не би достигле максимални интензитет. Он је имао изванредан осећај за подешавање својих уређаја, без обзира на то што није имао довољно теоријског знања да би све поменуте сложене појаве потпуно разумео и искористио. Када је 1891. године открио Теслин високонапонски трансформатор, није постојала никаква теоријска анализа овог уређаја. Математичка анализа се појавила тек 1895. године.

Квалитет рада Теслиног високонапонског трансформатора зависи од много елемената: од усклађености резонанси примарног и секундарног кола, од коефицијента спреге примара и секундара, од трајања варнице, броја варница у секунди и од оптерећења секундарног кола. И данас је ова направа предмет великог интересовања и изазов за многе конструкторе. Већ у Теслино време она је постала елемент сваке лабораторије за физику, а то је остала и до данас. Поред основне атракције – добијања снажних варница у колу секундара, Теслин високонапонски трансформатор је нашао више примена у свакодневном животу. Добијање високог напона за паљење бензинске смеше у аутомобилима (слика 1.8) је један пример, добијање високог напона за телевизијске катодне цеви и разне осцилоскопе је други пример. Осим тога, Теслин високонапонски трансформатор се користи у колима радио – предајника и пријемника, и многих других електронских уређаја данашњице. Најмодернија кола за напајање рачунара такође су заснована на примени Теслиног високонапонског трансформатора. У модерним применама Теслиног високонапонског трансформатора нема варничара, његову улогу су најпре преузеле електронске цеви, а данас транзистори и тиристори разних конструкција и снага (слика 1.9).



Слика 1.8: Аутомобилска свећица



Слика 1.9: Биполарни транзистор

Од 1894. године Тесла је уместо стационарних, почео да користи ротационе варничаре (слика 1.10). Експериментално је утврдио да се путем подешавања електричних параметара, могу осцилаторна кола у његовом уређају довести у стање

резонантног осциловања и да се услови највећег напона на слободном крају секундара остварују када је дужина секундара једнака четвртини производа брзине светлости и фреквенције осцилација у радном колу. У литератури су ови уређаји познати под називом „Четвртталасни резонатори”.

Од 1898. године Тесла је прво у лабораторији у улици Хјустон, а затим и у лабораторији у Колорадо спрингсу, приказао посебну конструкцију трансформатора са додатним калемом који је био редно везан са слободним крајем секундара радног кола и био је намењен за добијање огромних напона реда величине више десетина милиона волти.



Слика 1.10: Ротациони варничар

3.2 Бежични пренос енергије

Осим истраживања технике бежичног преноса малих сигнала, Тесла је уложио много труда да реализује пренос електричне енергије без жица у већим размерама. За ту сврху сматрао је да су неопходни висок, чак изузетно високи напони. Чини нам се да је овај његов захтев био логичан наставак оног што је било добро познато у раду са наизменичним струјама: високи напон је био неопходан да би се губици у преносним водовима смањили. Повећањем напона, при истој пренетој снази, опада струја па се могу користити и мали пресеци проводника уз прихватљиво мале губитке.

Високи и екстремно високи напони лако се производе са високофреквентним струјама па некако логично делује да проводници на нивоу екстремно високих напона могу да се смање до те мере да практично нестану. По Тесли, варијанта бежичног преноса из 1897. године јесте следећа: из генератора се иде преко Теслиног високонапонског трансформатора, чија дужина секундара треба да износи око четвртине таласне дужине наизменичне струје у колу, у отворено осцилаторно коло које чини изоловано метално тело у ваздуху (антена) и проводно тело укопано у земљи (уземљење). Прихватање овог патента захтевало је да Тесла изведе експеримент пред главним инспектором Патентног уреда. Постоји слајд који показује како је Тесла извео тражени експеримент. На слајду се види да је завршни крај антене предајника прикључен на стаклену цев из које је извучен ваздух до те мере да је притисак у њој

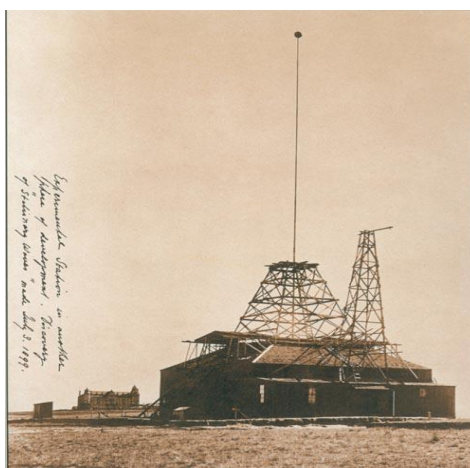
приближно једнак притиску атмосфере на висини од десетак километара изнад земље. На другом крају цеви, на сличан начин прикључен је терминал пријемне антене и са примара пријемног трансформатора енергија се води на секундар пријемника ниског напона. На описани начин Тесла је симулирао простирање кроз земљу и разрађену атмосферу, дакле неку врсту двопроводничког система сличног оном из нешто ранијег патента где је коришћена танка жица као један проводник далековода (Пат.бр. 593.138). Други проводник у том систему је такође земља, са којом су предајни и пријемни трансформатори спојени преко уземљених металних плоча.

Схватајући да је захтев за високом антеном од неколико километара нереалан, Тесла је у даљој разради идеје захтевао још веће напоне (реда 100 милиона волти) и сматрао да се и са умереним висинама изолованог тела са куглом великог пречника може остварити пренос на даљину. Тесла је, изгледа до краја веровао да његов систем ремети електрично пуњење земље и да је то основни механизам по коме ради његов систем. На себи својствен начин он је негирао постојање сличности емитовања електромагнетских поља у његовом систему и оног код Херцове апаратуре, где се тежи емитовању зрачења у простор. За ефекте које је Тесла очекивао емитовање енергије из антене, слично као код Херцове апаратуре, значило би чист губитак. У његовим белешкама из Лонг Ајленда он је чак примењивао Херцове формуле да би одредио фреквенције са којима мора радити да антенски систем (Земљина кугла и издигнуто изоловано тело) не би зрачио и нашао да треба радити са наизменичним струјама од само неколико десетина херца. Познато је да је Тесла од почетка рада на радију инсистирао на коришћењу знатно нижих фреквенција од оних које је користио Херц ради коришћења земље као једног проводника који онда води талас. Тесла свакако није могао знати све варијанте које се јављају у простирању радио- таласа, али је изванредно добро осетио да треба користити ниже фреквенције када не долази до изражаја само праволинијско простирање из антенског система, при чему би зрачење одвело енергију таласа ван Земљине површине и не би било струја у земљи на којима је Тесла инсистирао да би се остварио економичан пренос на глобалне удаљености.

У погледу избора фреквенција, Тесла је био у праву да ће таласи нижих фреквенција бити боље везани за Земљину површину, мада његов општи поглед на проблем простирања није коректан. У земљиној кори јављају се осцилације оптерећења како је он замишљао, али је ово увек у комбинацији са електромагнетним таласом који испуњава сав простор око Земље. Теслин поглед на простирање сувише је једноставан за сложене појаве простирања, али је невероватно да је он и са таквим моделом дошао до закључка о резонанцама Земљине кугле, стојећим таласима, па је чак и добро израчунао резонантне фреквенције Земљине лопте. Експериментисање са високим напонима постало је за Теслу опасно и он се крајем прошлог века одлучио да сагради нову лабораторију у којој ће моћи производити напоне и преко 4 милиона волти, колико је произвео у Њујоршкој лабораторији у улици Хјустон.

3.3 Колорадо Спрингс лабораторија

Када је Леонард Е. Кертис, члан електричног друштва из Колорадо Спрингса, чуо да Тесла жели да отвори нову лабораторију, предложио му је да је изгради у Колорадо Спрингсу на његовом земљишту, где ће добити сву потрбну електричну енергију. Финансијску помоћ дао му је Џон Џекоб Астор власник хотела Валдорф-Асторија, у коме је Тесла дуго боравио. Са 30.000 долара Тесла је саградио лабораторију (слика 1.11) и испунио је новим инструментима и опремом. У бараци димензија 30x30m, у средини просторије налазио се велики Теслин високонапонски трансформатор са примаром пречника 15m. Просторија је била испуњена калемовима, кондензаторима направљеним од боца са сланим раствором споља и изнутра (електроде кондензатора), трансформаторима, прекидачима, осигурачима итд. У средини просторије остао је отвор у кровној конструкцији кроз који је провучен стуб – антена са металном куглом на врху. У разним фазама рада Тесла је мењао облик високонапонског трансформатора од купастог секундара да цилиндричног секундара истог пречника, као и примарни калем (15 метара пречника), али са додатком трећег калема који је Тесла назвао „екстра калем”.



Слика 1.11: Теслина лабораторија у Колорадо Спрингсу 1899-1900

О својим истраживањима у Колорадо Спрингсу Тесла је водио уредан дневник, који почиње 1. јуном 1899. године, и завршава се 7. јануаром 1900. године. Дневник садржи 507 страница рукописа на енглеском језику и 193 цртежа. У последњој фази експерименталног рада Тесла је са фотографом снимио више фотографија. У тексту су описане 63 фотографије, од којих је у архиви Музеја Николе Тесле у Београду нађено 40 фотографија. Свој највећи варнични осцилатор, пре доласка у Колорадо Спрингс, Тесла је описао у патенту *Систем преноса електричне енергије* из 1897. године. Високонапонски трансформатор овог осцилатора је био у облику равне спирале, са око 50 завојака жице пречника 2.9 mm, са једним завојком примара око секундара пречника 244cm. Радна фреквенција осцилатора је била око 240kHz. У Колорадо Спрингсу Тесла

је изградио знатно већи осцилатор, што је био један од циљева због којих је тамо дошао. У једном каснијем чланку он је овоме додао и да је желео да усаврши методе индивидуализације и изолације преносне енергије, као и да утврди законе простирања струја кроз земљу и атмосферу.

Новембра 1900. године у штампи је писало да Тесла брзо напредује у усавршавању свог система и да се поруке које он шаље не могу ометати.

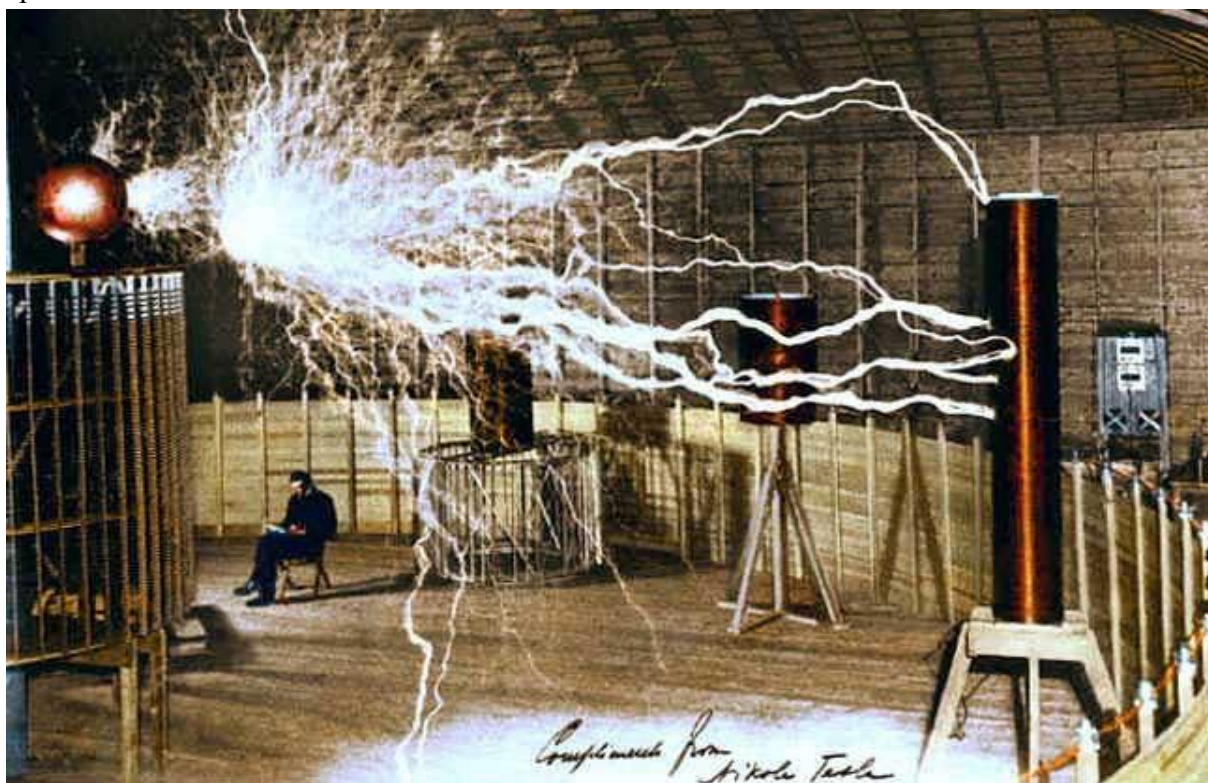
Ако се изврши анализа рада према записима појединих дана, Тесла је највише времена посветио предајнику (56%), затим пријемницима малих сигнала (око 21%), мерењу капацитивности антене (око 16%) и разним другим проучавањима и истраживањима (око 6%).

Предајник - варнични осцилатор, имао је у почетној фази класичан облик Теслиног високонапонског трансформатора са примаром и секундаром у јакој спрези (око 0.6%). Високонапонски трансформатор је био намотан на конусном телу са средњим пречником од преко 12 метара. Када га је коначно уобличио, трансформатор је имао 29 намотаја у секундару и један или два намотаја у примару. Примарни калем је био намотан уплетеном жицом, а секундар је био обичан цилиндрични проводник. Велике димензије калемова Тесла је морао да изабере због високих напона са којима је имао намеру да ради.

Већ после неколико дана рада он је изменио конструкцију свог трансформатора тако што је на ред са секундаром прикључио додатни калем, који је затим редовно користио. По Тесли, овај калем омогућава добијање већих напона од оних који се могу остварити са његовим класичним типом трансформатора. У ствари, овај калем мења режим рада читавог варничног осцилатора и то постаје систем са три осцилаторна кола и три резонантне фреквенције. У још каснијој фази рада Тесла је изменио облик секундарног калема високонапонског трансформатора и применио цилиндрични систем са пречником 15 метара (слика 1.12). И овде је спрега примара и секундара била јака. У средини високонапонског трансформатора концентрично је постављао додатни калем који је био у слабој спрези са примаром и секундаром. Кондезаторе примарног кола Тесла је правио од стаклених боца, једну электроду је формирала слана вода, а друга електрода је такође била слана вода која је деловала као заједничка електрода за све боце у једној кондезаторској батерији.

Пре реализације елемената система Тесла је вршио прорачуне индуктивности калемова, потребних капацитивности, учестаности прекидања варничног прекидача, међусобне индуктивности калемова трансформатора. Прорачуни су се заснивали на једноставном Томсоновом обрасцу и другим обрасцима које је користио из литературе. Све прорачунате величине проверавао је мерењем довијајући се на разне начине с обзиром на оскудну мерну апаратуру оног доба. Велике тешкоће у тим прорачунима задавала је паразитна капацитивност калема секундара. Тесла је смислио технике мотања да се умањи ова капацитивност, јер је сасвим исправно веровао да се највиши

напони добијају онда када је паразитна капацитивност калема најмања. Из студија његових бележака може се схватити сва његова проицљивост и интуиција која му је помагала у сналажењу са потпуно новим проблемима у једној новој техници, која се тек рађала. Занимљива су његова резоновања о секундарном калему за који је предлагао да оптимална дужина жице секундара треба да буде четвртина таласне дужине на којој предајник треба да ради. Тиме је потпуно одступио од упрошћене претпоставке спрегнутих резонантних кола како је његов високонапонски трансформатор третиран у теорији половином деведесетих година прошлог века. Тек недавно, у литератури је даље разрађен овај Теслин приступ, који секундар схвата као хеликоидни резонатор. Детаљне анализе су показале да је Теслина претпоставка о потребној дужини жице секундара тачна за неке односе дужине и пречника калема, што је још једна потврда његове изузетне интуиције и оригиналности са којима је приступао непознатим проблемима.



Слика 1.12: Теслин високонапонски трансформатор у Колорадо Спрингсу са примаром пречника 15 метара

Мерење фреквенција високих напона Тесла је разрадио до те мере која му је омогућавала да провери своја теоријска предвиђања. Момент резонанције одређивао је по дужини варница или по јачини светла сијалице индуктивно спрегнуте са калемом трансформатора. Напон је мерио по дужини варнице између металних сфера на начин који даје коректне резултате у раду са једносмерним напонима.

Доста времена Тесла је у Колорадо Спрингсу посветио испитивањима пријемника са осетљивим уређајима – кохерерима. У току боравка у Колорадо Спрингсу поднео је четири патента на пријемнике који користе “метод акумулације”

(говоримо само о патентима за које знамо да их је добио). С обзиром да су неки патенти поднети одмах на почетку боравка, а друга два су настала дељењем прва два, јасно је да су то проналасци из лабораторије у Њујорку. Усавршавања која је вршио у Колорадо Спрингсу наставак су и проширење ранијих радова. У забелешкама има око стотину разних шема повезивања осетљивих уређаја у којима користи метод акумулације са повратном спрегом за брзо укључивање осетљивог уређаја на долазећи сигнал. Разрађивао је и неколико типова пријемника у којима се користи термички ефекат високофреквентних струја.

Испитивања монопол антене – металне кугле на врху стуба, Тесла је вршио готово непрекидно месец дана из дана у дан. Ово је била кратка антена у односу на радну таласну дужину, тако да су се мерења, у ствари, сводила на мерење мале капацитивности. Као теоријски модел служили су му обрасци за статичку капацитивност вертикалне жице као вертикални издужени елипсоид и елипсоид у присуству металне равни. Занимљиво је да је напоменуо да се на вишим фреквенцијама неће добити тачна вредност, јер долази до разлике „статичке и динамичке” капацитивности. Колико је био пажљив у мерењима илуструје податак да је мерио мале капацитивности реда пикофарада.

Дневник истраживања из Колорадо Спрингса је документ који боље него писани радови или предавања илуструју метод Теслиног рада, педантног научника који комбинује теоријска и експериментална истраживања и тако, корак по корак, напредује ка задатом циљу. Међутим, као и у сваком истраживању, пред Теслом су некада искрсавали нови проблеми и неочекиване појаве које је пажљиво проучавао и тражио одговарајућа објашњења. Као пример наведимо његове тврдње да је при посматрању електричних пражњења велике дужине из једног терминала његовог високонапонског трансформатора према земљи уочио појаву ватрених лопти на појединим местима. Дао је и своју теорију настанка овог феномена који је у извесној мери остао загонетка до данашњег дана. Истраживања овог типа нису била у плану Теслиних истраживања и била су, по његовим речима, „од чисто научног интереса у то време”.

Дневник истраживања садржи извесне литерарне описе природе, углавном околине лабораторије и неких непогода, али то је учињено са циљем да се изнесу факта значајна за текућа или будућа истраживања.

3.4 На Лонг Ајленду

На острву Лонг Ајленд, сто километара од Њујорка, у пустим пределима Ворденклифа, у пролеће 1902. године, почела је изградња огледног центра који се састојао од електричне централе, предајника, помоћних и стамбених објеката. Никола Тесла је обећао Џону Моргану, финансијеру пројекта, да ће постројење пустити у рад за девет месеци.

Тесла је хтео да ту направи једну станицу за производњу електричне енергије и радио – пренос у којој би било упослено неколико хиљада људи. Хтео је да сагради један Радио – град, велелепнији него што је предузеће у Рокфелеровом центру у Њујорку. Тесла је планирао да радиодифузне преносе шаље на свим таласним дужинама из једне једине станице. Тада је био скоро једини човек који је предвидео савремени радиодифузни пренос. Сви други су видели у бежичном преносу само средство за слање телеграфских саопштења између брода и копна као и преко океана.

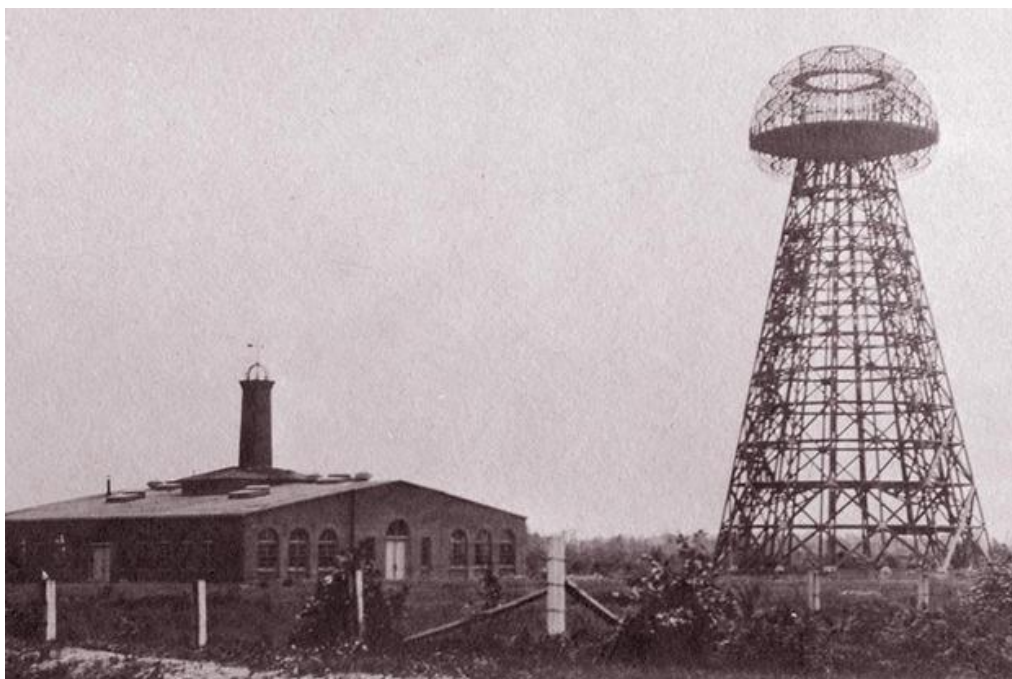
Господин Ворден, Теслин поштовалац, увидео је могућност остварења Теслиног плана, па му је за његову централу понудио земљиште од две стотине ари, од којих је двадесет било искрчено, у нади да ће две хиљаде људи које је требало ускоро упослити бити у стању да изграде за себе станове на погодном месту на остатку земљишта од две хиљаде ари, Тесла је прихватио овакву понуду.

Станфорд Вајт, чувени архитекта многих цркава и других великих грађевина, био је Теслин пријатељ. Тесла је изложио славном архитекти свој план индустријског „чаробног града” и замолио га за сарадњу у остварењу његовог сна. Вајт се одушевио том идејом и, као свој прилог Теслином покушају, понудио се да изгради предрачун за изградњу чудновате куле коју је проналазач замислио, као и да уради сав остатак грађевинског посла који је улазио у општи план овог града. Стварни посао извео је један од Вајтових сарадника, Кро.

Била је то некаква чудна кула, са необичним грађевинским ограничењима, коју је Кро узео да пројектује. Тесла је захтевао кулу, високу око четрдесет метара, која би на свом врху, имала циновску бакарну електроду од двадесет метара у пречнику.

Међутим и поред изузетних Теслиних напора, са опремањем лабораторије почело се тек 1904. године. Финансијер Морган, незадовољан због кашњења, престао је да даје новац, па је Тесла повео широку акцију да добије помоћ за наставак изградње експерименталног центра. Али нажалост све је било узалуд, новац није пристизао у довољним износима. Било је то велико разочарење за Теслу, које га је уздрмало и готово сломило

Теслина кула (слика 1.13) никада није добила свој првобитно замишљен изглед и саграђена је као торањ дрвене конструкције, необичне лепоте, са полулоптастим завршетком. Торањ је довршен 1902. године, а са њим и зграда лабораторије површине око 900m². Опрема за лабораторију израђивана је по Теслиним специјалним наруџбинама. Тесла је окупио раднике и припремао све потребно за будуће експерименте, а сам је учествовао у сваком подухвату. Био је неуморан у раду, а то је захтевао и од својих сарадника. Кажу да је био врло коректан према свима, да је посебно награђивао за прековремени рад.



Слика 1.13: Теслина лабораторија на Лонг Ајленду, и Теслина кула

Да би објаснио циљ свог најновијег подухвата, Тесла је објавио брошуру о новом „Светском систему“. У уводном делу навео је да је “Светски систем плод комбинације неколико оригиналних открића до којих је проналазач дошао у току дугих испитивања и многобројних огледа”. Оно што је посебно занимљиво у овој брошури јесу описи техничких могућности система, које је сумирао у следећих дванаест тачака:

1. *Међусобна веза свих постојећих телеграфских станица у свету;*
2. *Увођење државне тајне телеграфске службе без могућности ометања;*
3. *Међусобна веза свих садашњих телефонских станица на земљиној лопти;*
4. *Свеопште ширење вести од општег значаја, телеграфски или телефонски, у вези са штампом;*
5. *Увођење светског система преноса обавештења за искључиво приватну употребу;*
6. *Међусобна веза и рад свих уређаја за откуцавање берзанских вести из целог света;*
7. *Увођење светског система за пренос музике итд;*
8. *Универзално регистровање времена помоћу јефтиних сатова који показују астрономски тачно време и не траже никакво одржавање;*
9. *Пренос факсимила штампаних или руком писаних слова, писама, чекова итд;*
10. *Увођење универзалне поморске службе, која би омогућила морнарима на свим бродовима да без компаса крмане, да утврђују тачан положај брода, час и брзину, да спрече сударе и несреће итд;*
11. *Увођење система светске штампе на копну и води;*
12. *Репродукција, ма на ком месту на свету, фотографских слика и свих цртежа или докумената.*

Оно што је Тесла предвидео у дванаест тачака остварено је у следећих сто година, али у оно доба многе од Теслиних замисли личиле су на фантазију. Када је новинарима једном рекао да ће у будућности сваки човек имати мали примопредајник са којим ће бити у контакту са свим корисницима система и давати и примати инструкције бежичним путем, новинари су га исмејали. У оно доба радио је схватан као једина ствар комуникације, а Тесла је већ предвидео дифузни систем за пренос вести, музике, писама, чекова и слично. Није прескочио ни примене радија у навигацији, дистрибуцији тачног времена, за размену берзанских информација итд. Размишљао је о преносу покретних слика – телевизији, али то није унео у свој програм, јер је о томе само размишљао.

У белешкама које је водио у Лонг Ајленд лабораторији налази се много необјављених Теслиних идеја и доста прецизна објашњења могућности преноса телевизијске слике. По узору на човечије око, Тесла је замислио пренос елемената слике високофреквентним струјама разних фреквенција, које се комбинују у заједнички нерв, жицу која паралелно преноси слику. Телевизија није кренула тим путем, осим што се слике које се преносе ипак разлажу у елементе, а читање информације о елементима слике врши електронски млаз.

О својим истраживањима на Лонг Ајленду Тесла је неколико година водио забелешке. Међутим, оне нису биле ни приближно онако сређене и континуалне какав му је био дневник из Колорадо Спрингса .

Овога пута Тесла се борио са много више потешкоћа, од којих би само за пројектовање светског система било довољно да му одузме све време, а да не говоримо о изузетним проблемима око обезбеђивања финансија. Утонуо у своја размишљања о апаратима и читавом подухвату, он је занемаривао чињеницу да средства која има брзо отичу, а нова не пристижу. Око 1905. године појавили су се повериоци са судским пресудама и Тесла је коначно био приморан да затвори лабораторију у Ворденклифу на Лонг Ајленду. Торањ никада није довршен, а већина инсталираних машина је однесена јер није била плаћена. Вратио се у Њујорк и отворио канцеларију у улици Бродвеј 165, настојећи да дође до потребних средстава за даљи рад. Новцем који је сакупио исплатио је старе дугове, али није могао да отвори нову лабораторију.

Када је увидео да су даља настојања око Светске радио станице пропала због недостатка средстава, Тесла се вратио неким старим идејама из области машинске технике. Вредан помена је период негде око 1896. године, када се једно време бавио механичким осцилацијама које је испробао за погон вибрационих генератора врло тачне фреквенције. Наиме Машински генератори стално су мењали радну фреквенцију при променама оптерећења, тако да се једна од Теслиних идеја да се добије тачно време где год има напајања наизменичном струјом није могла остварити.

Механички вибрациони генератори садржали су механизам саморегулације фреквенције зависне од одређених механичких и електричних константи, па су много боље одржавали тачну радну фреквенцију. Уз ова испитивања Тесла се бавио и ефектима чисто механичких вибрација на околину, па је чак једном приликом изазвао неке озбиљне поремећаје у суседним зградама око његове лабораторије. Вероватно је Теслин први биограф Џон О'Нил сувише драматизовао догађаје око једног малог вибратора који је Тесла причврстио за стуб своје лабораторије и он је после извесног времена почео да изазива рушилачке вибрације на околним зградама, тако да је Тесла морао да разбије своју нараву и спречи општу катастрофу.

Крајем двадесетих година двадесетог века Тесла напушта рад у машинству. Томе је највише допринела велика економска криза у Америци. Нема више бироа, али наставља са радом. Следећих неколико година бави се проблемима телединамики, простирањем механичких таласа кроз земљу и зрацима смрти. За своје радове покушава да заинтересује велике компаније и, касније, владе неких земаља, као што су енглеска, југословенска, совјетска и друге.

3.5 Математички прорачун Теслиног високонапонског трансформатора

Као што смо већ рекли, математички прорачун Теслиног високонапонског трансформатора се појавио тек 1895. године, а до тада је све рађено према интуицији и осећају самог Тесле. Данас постоје једначине/изрази које нам омогућавају да направимо прорачун и лако остваримо максималну снагу трансформатора за те задате вредности. Оне су изложене у наредном тексту овог одељка.

3.6 Дужина варнице

$$P = \frac{L}{1.7}^2 \quad \text{или} \quad L = 1.7 \times \sqrt{P} \quad (1.1)$$

P = Снага

L = Дужина варнице

3.7 Изједначавање трансформатора и кондензатора

Да би смо изједначили кондензатор са трансформатором користимо следећу једначину:

$$C = \frac{10^6}{6.2832 \times R \times F_l} \quad (1.2)$$

$$R = \frac{E}{I} \quad (1.3)$$

C = Капацитивност микрофаради

E = Волтажа

I = Ампеража

F_L = Линијска фреквенција Hz

3.8 Капацитивност кондензатора

Кондензатор (слика 1.14) чини систем два блиска проводника, који су оптерећени једнаким количинама електрицитета супротног знака. Проводници који образују кондензатор називају се електродама или облогама кондензатора. Између двеју електрода оптерећеног кондензатора постоји потенцијална разлика или напон.

Испитивањем се може показати да између наелектрисања Q позитивно оптерећене електроде и потенцијалне разлике између електрода постоји линеарна зависност.

$$Q = C \times U \quad (1.3)$$

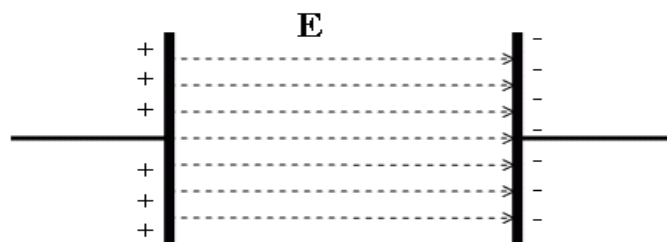
Коефицијент пропорционалности, C , карактерише кондензатор и назива се електричном капацитивношћу кондензатора.

$$C = \frac{Q}{U} \quad (1.4)$$

Капацитет кондензатора зависи од облика, димензија и међусобног положаја електрода, као и од особина средине у којој се налазе.

Јединица капацитивности је *ФАРАД* и обележава се словом F . Капацитивност од $1F$ има онај кондензатор чија оптерећеност износи $1C$ при напону од $1V$.

Кондензатори који се јављају у пракси имају знатно мању капацитивност, због чега се чешће употребљавају уместо фарада, микрофарад ($1\mu F = 10^{-6} F$), нанофарад ($1nF = 10^{-9} F$), пикофарад ($1pF = 10^{-12} F$). На слици (1.14) је приказан плочасти кондензатор.



Слика 1.14: Плочасти кондензатор

3.9 Фреквенција осцилаторног кола

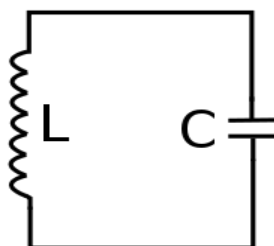
Осцилаторно коло (слика 1.15) је коло које се састоји од кондензатора C и калема L , зависно од типа везе разликујемо редно и паралелно осцилаторно коло. Да бисмо израчунали фреквенцију осцилаторног кола користићемо следећи образац:

$$F = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{L \times C}} \quad (1.5)$$

f = Резонантна фреквенција (kHz)

L = Индуктивност mH

C = Капацитивност μF



Слика 1.15: Шема паралелног осцилаторног кола

3.10 Индуктивност хеликоидног калема

Индуктивност хеликоидног или спиралног калема (слика 1.16) можемо израчунати само ако знамо следеће факторе:

1. Број завоја калема;
2. Пречник калема;
3. Пречник жице калема;
4. Размак између жица калема;
5. Висину калема.

Ако знамо све факторе, индуктивност хеликоидног калема израчунавамо помоћу следећег обрасца:

$$L = \frac{N^2 \times R^2}{9R + 10H} \quad (1.6)$$

$$R = \frac{D}{2} \quad (1.7)$$

L = Индуктивност (μF)

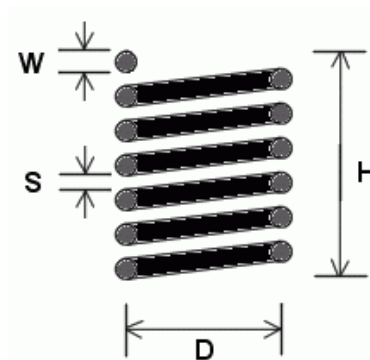
N = Број завоја калема

D = Пречник калема

W = Пречник жице калема

S = Размак између жица калема

H = Висина калема



Слика 1.16: Хеликоидни калем

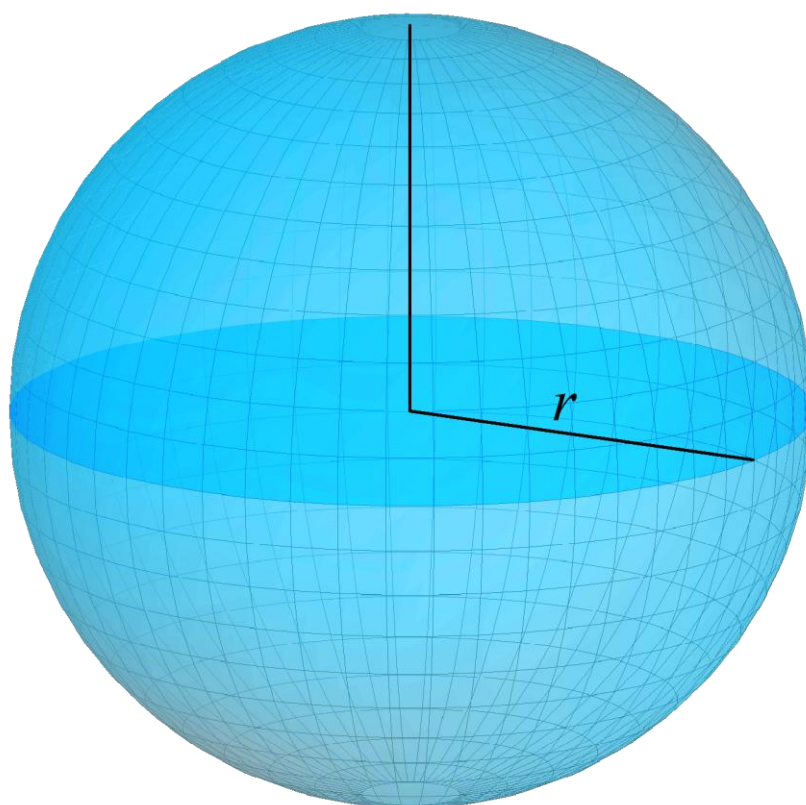
3.11 Израчунавање капацитивности сфере

Да бисмо израчунали капацитивност сфере Теслиног високонапонског трансформатора потребно је да познајемо радијус те сфере (слика 1.17), и онда капацитивност израчунавамо преко једноставног обрасца:

$$C = \frac{25.4 R}{9} \quad (1.8)$$

C = Капацитивност (pF)

R = Радијус сфере



Слика 1.17: Радијус сфере

4.0 Данашња примена Теслиног високонапонског трансформатора

4.1 Едукација и забава

У данашње време главна употреба Теслиног високонапонског трансформатора је за забаву и у едукативне сврхе (слика 1.18). Трансформаторе праве ентузијасте, истраживачке установе и научни музеји.

Теслин високонапонски трансформатор при промени фреквенције мења звук рада, па га понекад користе и уместо звучника. У Америци постоји музички бенд који свира своје инструменте преко Теслиног високонапонског трансформатора (слика 1.19).



Слика 1.18: Теслин трансформатор као средство едукације

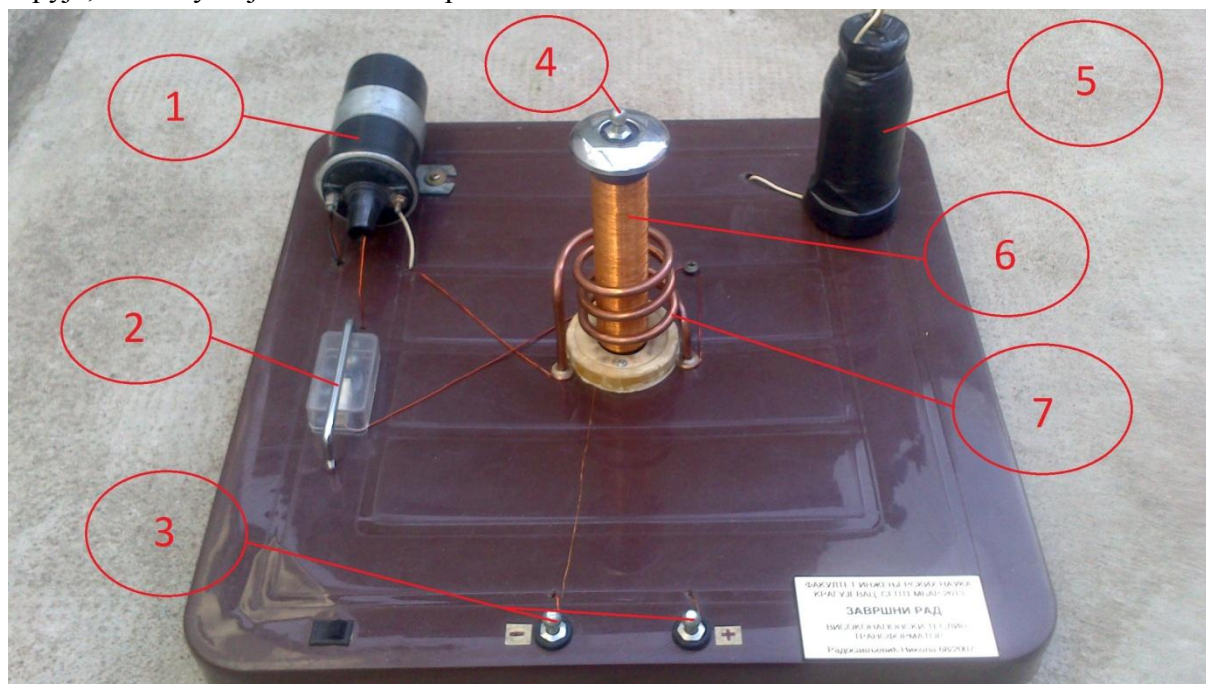


Слика 1.19: Теслин трансформатор као звучник

5.0 Развој демо модела ТВТ

5.1 Кратак опис израде модела

Овај лабораторијски демо модел Теслиног високонапонског трансформатора израђен је по стандардној електричној шеми (слика 1.6), коју је нацртао Никола Тесла када је патентирао уређај. Уређај је израђен тако да ради на 12 волти једносмерне струје, и потпуно је безбедан за рад.



Слика 1.20: Лабораторијски демо модел Теслиног високонапонског трансформатора

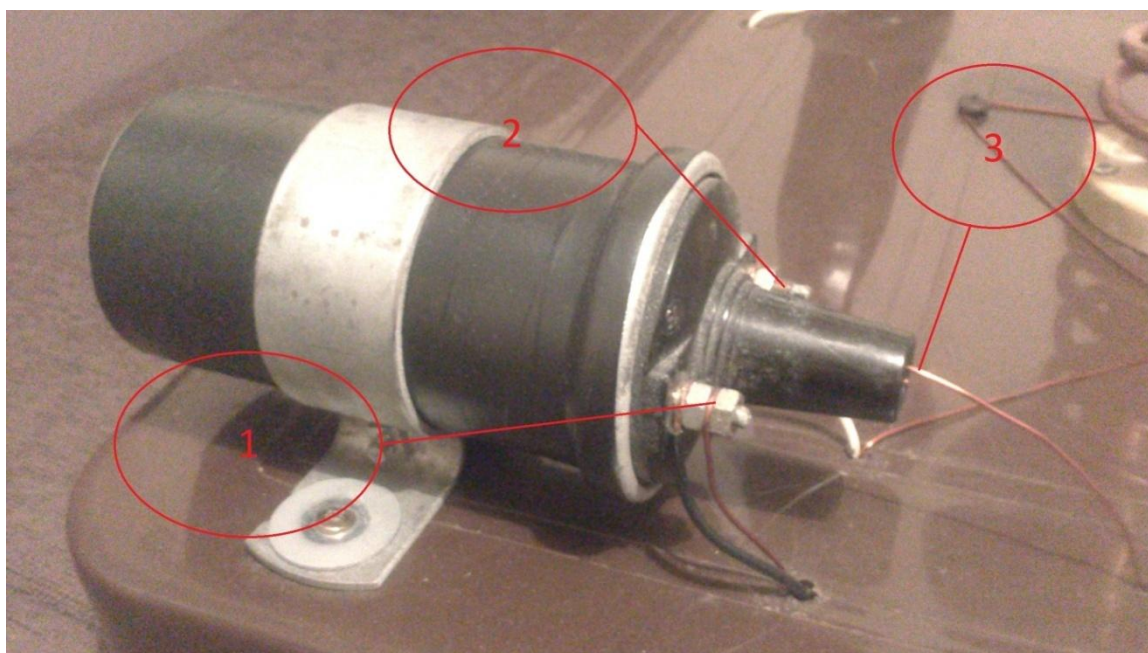
На слици (1.20) је приказан уређај са свим електричним компонентама које су обележене бројевима, и у наставку ћемо објаснити сваку компоненту појединачно. На слици можемо видети:

1. Високонапонски трансформатор;
2. Варничар;
3. Прикључак за 12 волти једносмерне струје;
4. Сферу секундарног намотаја;
5. Високонапонски кондензатор;
6. Секундарни намотај ;
7. Примарни намотај.

5.2 Високонапонски трансформатор демо модела ТВТ

На овом лабораторијском демо моделу Теслиног високонапонског трансформатора, као високонапонски кондензатор за напајање уређаја је коришћен аутомобилски високонапонски трансформатор (бобина), (слика 1.21).

Она је идеална за овакву врсту уређаја зато што функционише на 12 волти једносмерне струје, и врло лако може да се набави, за разлику од других високонапонских трансформатора који се тешко налазе, а и цена им није приступачна.



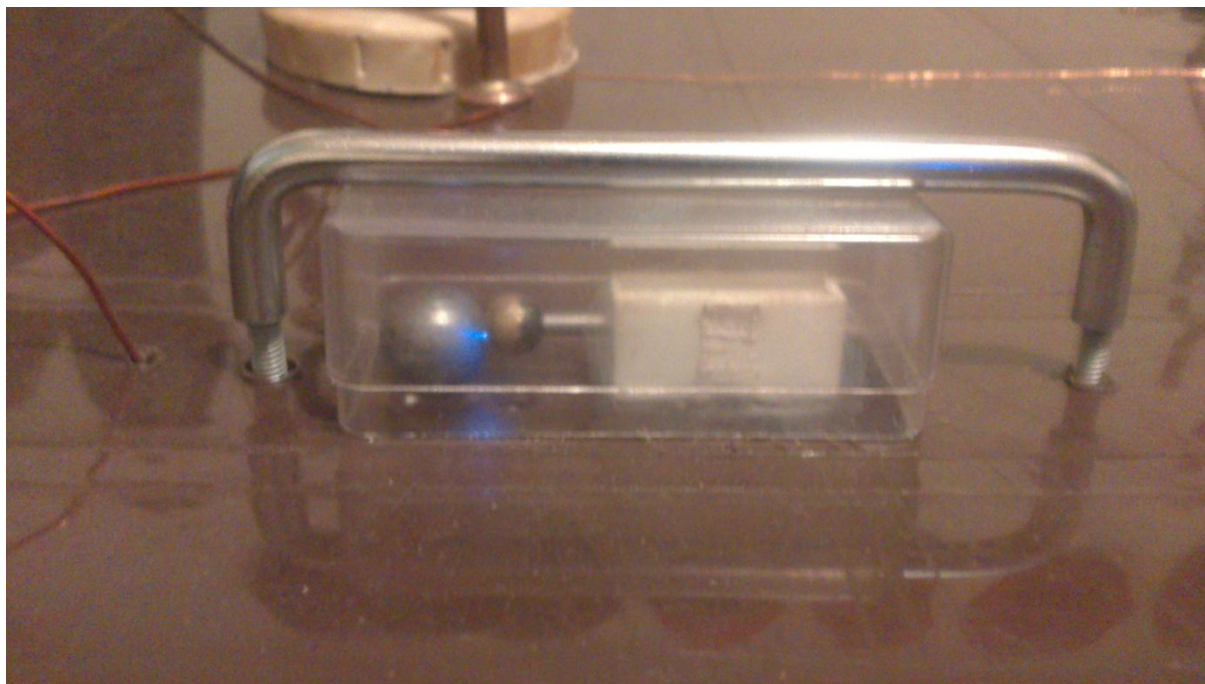
Слика 1.21: Високонапонски трансформатор демо модела ТВТ

На слици су бројевима обележени пинови трансформатора:

1. *Негативан пол напајања;*
2. *Позитиван пол напајања;*
3. *Високонапонски излаз трансформатора.*

5.3 Варничар демо модела ТВТ

Варничар лабораторијског демо модела (слика 1.22) Теслиног високонапонског трансформатора се састоји од две металне кугле које се налазе на веома малом растојању. Једна метална кугла је везана за високонапонски излаз трансформатора, а друга метална кугла је везана за примарни намотај. Улога варничара је пражњење кондензатора стварањем варнице између металних кугли.



Слика 1.22: Варничар демо модела ТВТ

На слици се јасно види варница између велике и мале кугле, та варница представља пражњење кондензатора и индуковање струје у примарном намотају. Велика кугла је пин високонапонског трансформатора, а мала кугла је пин примарног намотаја.

Код варничара је најбитније добро подесити зазор између кугли (пинова), јер снага уређаја највише зависи од константности варнице у варничару. Зазор је могуће променити и прилагођавати по потреби.

5.4 Напајање демо модела ТВТ

Већ је поменуто да се уређај напаја једносмерном струјом од 12 волти. Напајање уређаја се врши помоћу металних прикључака (слика 1.23), који су предвиђени да се укопчавају са штипаљкама исправљача за пуњење батерија на аутомобилима.

Уређај може да ради на било ком извору једносмерне струје од 12 волти, али зазор у варничару мора да се коригује према извору струје, а ако постоји могућност кориговања снаге извора напајања, онда се напон мења док се у варничару не створи константна варница.



Слика 1.23: Прикључци за напајање демо модела ТВТ

5.5 Високонапонски кондензатор демо модела ТВТ

Високонапонски кондензатор демо модела Теслиног високонапонског трансформатора (слика 1.24) је ручно направљен, по угледу на Николу Теслу. Високонапонски кондензатор је направљен од стаклене боце, алуминијумске фолије и сланог раствора.



Слика 1.24: Високонапонски кондензатор демо модела ТВТ

Кондензатор је овако урађен из разлога што је веома тешко наћи кондензаторе велике капацитивности, а и веома су скупи. У овом случају позитивну электроду

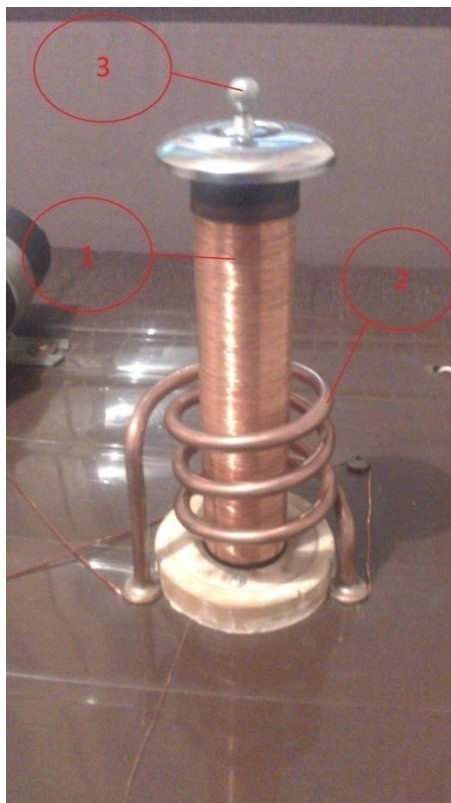
кондензатора чини метална шипка зароњена у слани раствор, а негативну электроду чини алуминијумска фолија.

На слици је бројевима обележено:

1. Позитивна електрода;
2. Негативна електрода.

5.6 Секундарни и примарни намотај демо модела ТВТ

Секундарни намотај (слика 1.25 број 1) демо модела Теслиног високонапонског трансформатора је направљен од бакарне жице дебљине 0.5 mm, висок је 16 cm и има приближно 350 намотаја жице. На врху секундарног намотаја се налази метална кугла која представља сферу. Једним крајем је прикључен на минус пол, а другим крајем на металну куглу (сферу), (слика 1.25 број 3).



Слика 1.25: Секундарни(1) и примарни(2) намотаји и сфера(3) демо модела ТВТ

Примарни намотај (слика 1.25 број 2) демо модела Теслиног високонапонског трансформатора је бакарна цев дебљине 5 mm и висине 7.6cm, једним крајем је прикључен на варничар, а другим крајем на високонапонски кондензатор.

6.0 Упутство за употребу уређаја

Да би се уређај пустио у рад потребно је да се на металне прикључке (слика 1.23) повеже струјни извор од 12 волти једносмерне струје, затим се прекидач на слици (1.26) пребаци у положај 1. Уколико се при укључивању прекидача у варничару не јави варница потребно је кориговати зазор између две металне кугле варничара (слика 1.22).

Када се у варничару јави константна варница уређај је у функцији, тада се на сфери секундарног намотаја јавља високофреквентна струја у виду варнице.



Слика 1.26: Прекидач за пуштање у рад демо модел ТВТ

7.0 Закључак

У закључним излагањима не могу, а да не напоменем да је Никола Тесла био научник - проналазач који је читав свој живот посветио откривању тајни природе да би их укротио и ставио на располагање човеку. Када би неко склонио све његове изуме, цео свет би остао у мраку и тишини.

Никола тесла је преминуо 7. јануара 1943. године и мало пред своју смрт је рекао једном америчком новинару који је дошао да га интервјуише: “ *Пустимо будућност да исприча истину и награди свакога према своме раду и заслугама, садашњост је њихова, али будућност, за коју сам ја једино радио је моја!*”.

Његов високонапонски трансформатор је данас основна компонента скоро сваког електронског уређаја. Сваки аутомобил, телевизор, рачунар, радио апарат, има помало Тесле у себи. Својим торњем у Ворденклифу Тесла је осмислио интернет, и то све пре више од сто година. То довољно говори колико је овај човек био испред свог времена.

Лабораторијски демо модел Теслиног високонапонског трансформатора, чија је физичка изведба приказана на слици (1.20), представља саставни део овог рада.

Приказани уређај сам, у договору са ментором проф. Др Милуном Бабићем, уступио студентском тиму прве године мастер студија нашег Факултета, да га тестирају и испитају, у оквиру израде свог семинарског рада из предмета Истраживачке методе у машинству. Резултати које су они добили, јавно су приказани пред великим бројем студената друге године основних студија и прве године мастер студија, и позитивно оцењени од стране предметног наставника и његових сарадника, али и од колега студената.

8.0 Литература

- [1] Александар Маринчић: “Живот Николе Тесле”, Београд 2006. година
- [2] Маргарет Чејни: “Тесла, човек ван времена”, Београд 2006. година
- [3] Милутин Тасић: “Тесла од Смиљана до вечности”, Београд 2006. година
- [4] Др Миливоје Дошеновић: “Никола Тесла његов живот и његово дело”, Нови Сад 2010. година
- [5] Никола Тесла: “Моји изуми”, Нова школа Београд 2006. година
- [6] Др Јасна Радуловић: “Електротехника са електроником”, Крагујевац 2011. година
- [7] Др Милун Бабић: “Идеје и дела Николе Тесле – очима студената“, Крагујевац 2007. година

Интернет странице:

- [1] <http://teslacoils4christ.org/TCFormulas/TCFormulas.htm> (приступ 17.09.2013. године)
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_coil (приступ 18.09.2013 године)
- [3] <http://www.tesla-museum.org/menisi/nt.php?link=3d/3d&opc=sub11> (приступ 18.09.2013. године)