



»TESLA COIL« - BREŽIČNI PRENOS ENERGIJE

Mentor:

Gregor Kramer univ. dipl. inž. el.

Avtor:

Filip Horvat, E3B

Gregor Pesar, E3B

KAZALO

KAZALO	2
KAZALO SLIK.....	3
ZAHVALA.....	4
POVZETEK	5
KLJUČNE BESEDE	5
1. HIPOTEZE	6
2. OPIS RAZISKOVALNE NALOGE	6
2.1. Metode dela	6
3. OSREDNJI DEL NALOGE.....	7
3.1. PRINCIP DELOVANJA TESLINEGA TRANSFORMATORJA.....	7
3.1.1. RESONANCA	9
3.1.2. OSCILACIJA.....	9
3.1.3. INDUKCIJA.....	10
3.2. GENERATOR IZMENIČNE NAPETOSTI (ZVS).....	10
3.3. ZRAČNA REŽA – ISKRIŠČE.....	11
3.4. TRANSFORMATOR	12
4. POTEK DELA.....	13
5. RAZPRAVA	15
6. MOŽNOSTI NADGRADNJE IN RAZVOJA	15
7. VARNOST	16
8. SEZNAM VIROV	17

KAZALO SLIK

Slika 1: poenostavljena shema vezave glavnih delov Teslinega transformatorja	8
Slika 2: izdelana maketa Teslinega transformatorja	8
Slika 3: signal poteka ciklov LC vezave	9
Slika 4: signal poteka oscilacije.....	9
Slika 5: uporabljen ZVS modul	10
Slika 6: shema ZVS vezja.....	11
Slika 7: najina zračna reža.....	12
Slika 8: najin transformator FLYBACK RoHS JF 0501	13

ZAHVALA

Rada bi se zahvalila mentorju, gospodu Gregorju Kramerju, ki nama je s svojimi nasveti pomagal, da sva rešila kakršnekoli težave pri raziskovalni nalogi, Gašperju Trupeju, ki nama je pokazal kako napisati nalogo in vsem ostalim, ki so nama s svojim znanjem tako ali drugače pomagali pri raziskovalni nalogi.

POVZETEK

V tej nalogi sva bila usmerjena predvsem v sodoben prenos električne energije s pomočjo Teslinega transformatorja. Pri raziskovalni nalogi sva želela ugotoviti, ali lahko električno energijo prenašamo brezžično. Hotela sva ugotoviti ali je Teslin projekt Tesla tower res mogoč. Teslin transformator je sestavljen iz ZVS vezja, visokonapetostnega transformatorja, kondenzatorjev, zračne reže in primarnega ter sekundarnega števila ovojev. Teslin transformator se v osnovi uporablja za generiranje visokih izmeničnih napetosti. Uporablja se lahko na področju električne razsvetljave, generacije rentgenskih žarkov, pojavov visokofrekvenčnega izmeničnega toka, elektroterapije in prenosa električne energije (brezžično). Ponekod se uporabljajo majhne Tesline tuljave kot detektorji uhajanja za sisteme visokega vakuuma. Danes se pogosto uporablja tudi za učenje na zabavo. Naloga je za naju pomenila delo na dokaj neznanem področju. Med raziskovanjem sva naletela na različne probleme, ki pa sva jih v večini uspešno odpravila.

KLJUČNE BESEDE

- Generator izmenične napetosti - oscilator (ZVS)
- Transformator
- Zračna reža - iskrišče

1. HIPOTEZE

- Vezje Teslinega transformatorja iz enosmerne napetosti generira visokofrekvenčno izmenično napetost, ki preko aluminijastega terminala prenaša energijo v okolico.

2. OPIS RAZISKOVALNE NALOGE

2.1. Metode dela

Preden sva začela delati sva imela dilemo ali maketo izdelava sama ali kupiva kit komplet. Na internetu sva pregledala veliko variant Teslinega transformatorja in se odločila za vezje v kit kompletu DIY Tesla Coil. Odločila sva se da kupiva kit, saj nimava na področju visokih napetosti in frekvenc nobenih izkušenj. Zaradi tega sva izbrala tudi komplet manjše moči in s tem tudi nižje cene.

Celotno vezje transformatorja napaja oscilatorsko vezje, v nadaljevanju ZVS (Zero Voltage Switch), ki spremeni enosmerno napetost v visoko frekvenčno AC napetost. ZVS je napajan iz strani enosmerne napajalnika, ki zmora vsaj 100W moči. Pri izdelavi vezja sva imela težavo, da kit ni vseboval nobene dokumentacije, zato sva si pomagala z internetom, kjer pa vlada v zvezi s tem prava zmeda različnih pristopov.

Za najin Teslin transformator sva uporabila visokonapetostni transformator z oznako RoHS JF0501. Težava pri njem je bila, da nisva vedela kaj sploh je to, dokler se nisva o njem pogovorila z mentorjem in dokler se nisva poučila o njem na internetu. Ko sva razumela teorijo delovanja transformatorja, sva ga preizkusila. Zatem sva ga povezala na primarni del Teslinega transformatorja, ki sva ga naredila samo iz enega ovoja.

Zračno režo ali iskrišče sva izdelala tako, da ji lahko nastavljamo razdaljo. Po posvetu z mentorjem in drugim profesorjem, sva dobila odlično idejo, da naj razdaljo določava s privijanjem in odvijanjem vijaka. Ko sva imela končano iskrišče sva ga prilepila na maketo in ga priključila na transformator ter na zemljo.

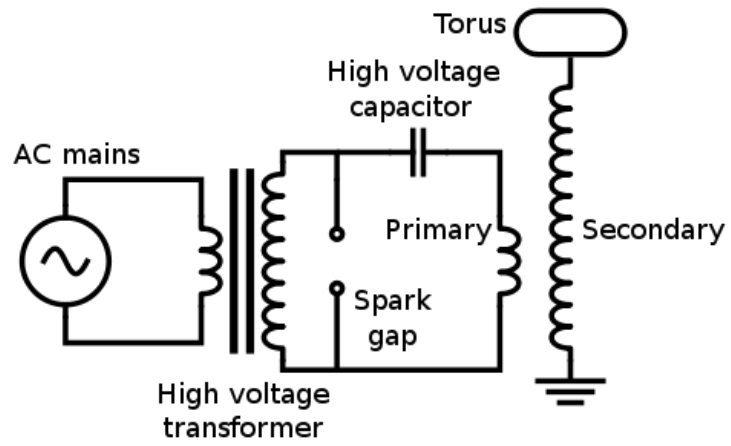
Sekundarni del sva priključila na primarni del Teslinega transformatorja, njegov sekundar pa povezala z zemljo in nanj postavila terminalno kroglo iz aluminija.

Med obratovanjem nama je povzročal težave zelo visok tok, ki ga je pobiral transformator iz DC napajalnika (tok 5A). To težavo sva rešila tako da sva ZVS postopoma obremenjevala.

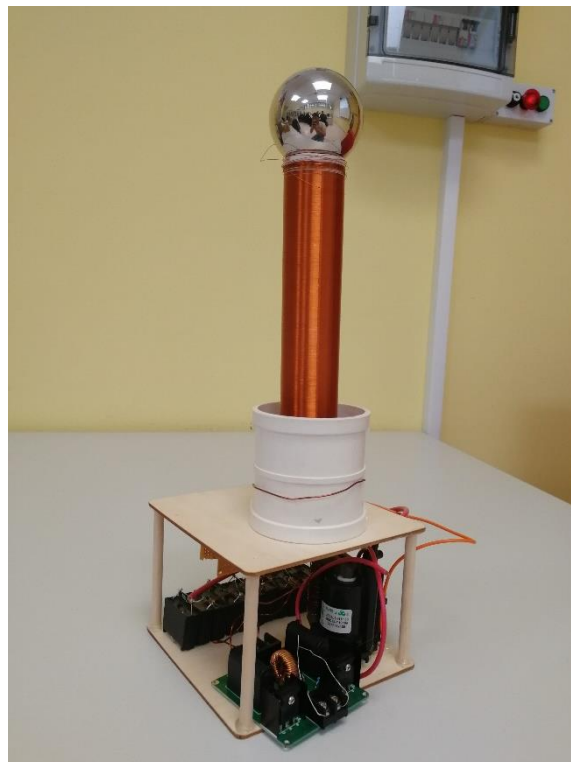
3. OSREDNJI DEL NALOGE

3.1. PRINCIP DELOVANJA TESLINEGA TRANSFORMATORJA

Teslin transformator si lahko predstavljamo kot dva zaporedna transformatorja, ki dvigujeta napetost. Če pogledamo prvi transformator: napajan je iz male AC napetosti, ki jo nato dvigne na nekaj kV. Drugi transformator pa še bolj dvigne to napetost iz prvega, ki jo potem oddaja v obliki strele in magnetnega polja okoli nje. Teslin transformator ima primarno in sekundarno navitje (ti dve navitji sta tudi navitji drugega transformatorja). Primarno navitje je narejeno iz malega števila ovojev, medtem ko je sekundarno narejeno iz čim večjega števila. Razlog v tem je zaradi indukcijskega zakona. Če se pomaknemo malo nazaj gre napetost iz prvega transformatorja na visokonapetostne kondenzatorje. Kondenzatorje imamo zaradi oscilacije med primarnim in sekundarnim delom Teslinega transformatorja. Pri Teslinem transformatorju imamo tudi zračno režo ali iskrišče, kjer pride do preboja ko se pojavi maksimalna napetost v ciklu LC vezja primarnega dela transformatorja. Iskrišče prebija sinhrono z oscilacijo med primarnim in sekundarnim delom. Iskrišče je zelo pomembno tudi zaradi tega, da nam zmanjša tok ki teče po sekundarnem navitju, če bi bil prevelik bi se navitje lahko poškodovalo. Na vrhu imamo tudi toroidni terminal , ki predstavlja površino kjer se tvori električno polje proti zemlji. Konec sekundarnega navitja je treba povezati z zemljo.



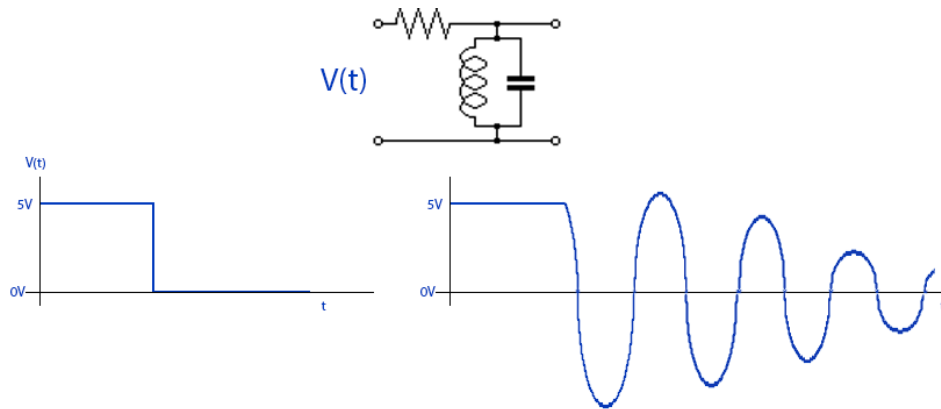
Slika 1: poenostavljena shema vezave glavnih delov Teslinega transformatorja



Slika 2: izdelana maketa Teslinega transformatorja

3.1.1. REZONANCA

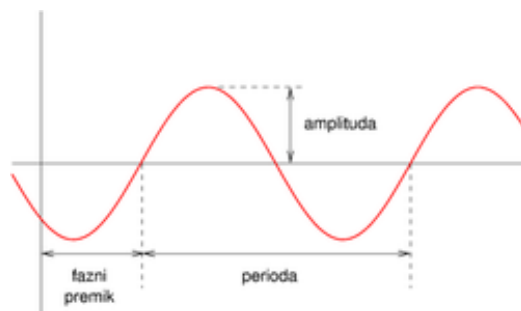
Resonanca je fizikalni pojav, kjer lastna frekvenca (v najinem primeru frekvenca LC vezave) zaradi vzrokov drugega nihajočega sistema začne nihati z večjo amplitudo. To se zgodi, ko je frekvenca vzbujanja skoraj enaka lastni frekvenci. Midva sva imela 2 resonanci, resonanco oscilatorskega dela vezja in resonanco, ki se pojavi v Teslinem transformatorju.



Slika 3: signal poteka ciklov LC vezave

3.1.2. OSCILACIJA

Oscilacija je periodično gibanje nekega signala okoli ravnovesne lege, ki je opredeljeno z amplitudo in frekvenco. Nihanja so običajno sinusna. Poznamo mehanska in električna nihanja.

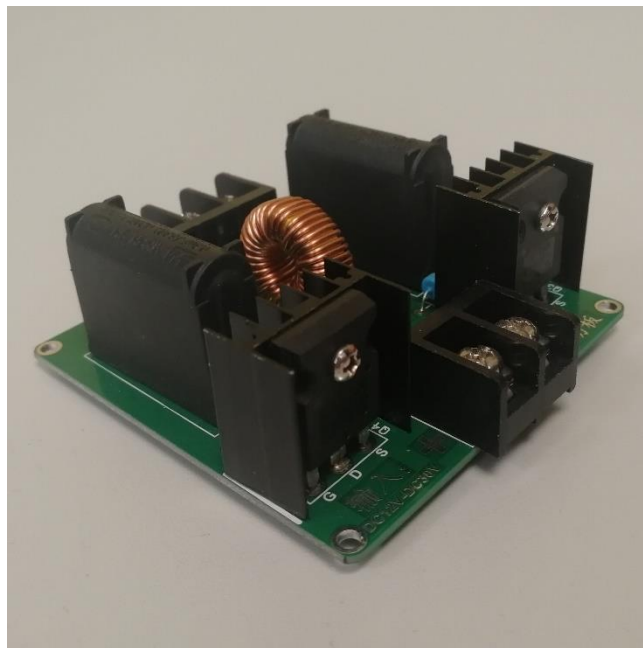


Slika 4: signal poteka oscilacije

3.1.3. INDUKCIJA

Pogoj za indukcijo je spremenljivo magnetno polje. Elektromagnetna indukcija nastopi v transformatorjih in napravah, kot na primer električni motorji in generatorji. V vezju Teslinega transformatorja prihaja do inducirane napetosti v visokonapetostnem transformatorju, ki jo priključimo na primarni del Teslinega transformatorja. Inducirane napetosti so odvisne od števila ovojev transformatorja. Večje kot je število ovojev višja je napetost, tok pa ustrezno manjši, tako, da se ohranja električna moč.

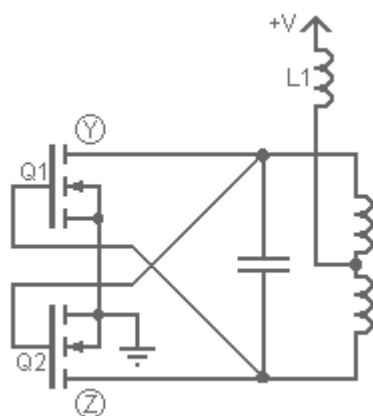
3.2. GENERATOR IZMENIČNE NAPETOSTI (ZVS)



Slika 5: uporabljen ZVS modul

To je vezje, ki je sestavljeno iz dveh MOS-FET tranzistorjev, enega navitja, 4 uporov, 2 kondenzatorjev, dveh hladilnikov, dveh polprevodniških diod in 2 zenerjevih diod. Kot je že bilo omenjeno zgornje vezje poskrbi, da dobimo iz DC napetosti visokofrekvenčno AC napetost. To naredi tako, da ko priklopimo napetost na V+ (kot kaže na sliki) dobita oba

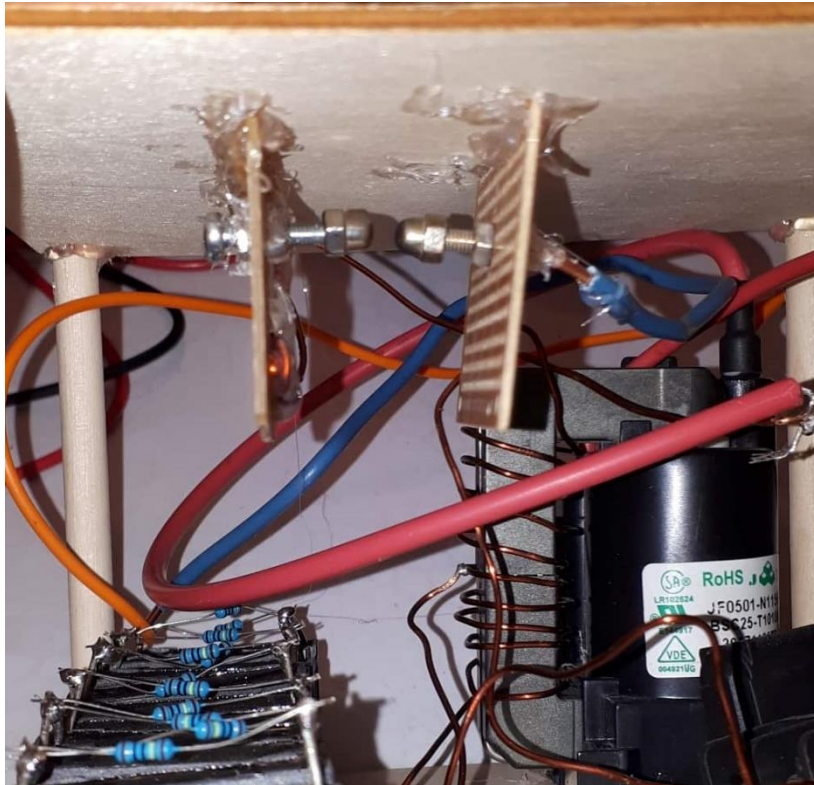
tranzistorja napetost. Ker nista simetrično obremenjena eden od njiju porabi več napetosti (posledično tudi toka) kot drugi. Tisti, ki porabi več, jemlje tok drugemu zato je odprt, drugi pa zaprt. Kondenzator v vezju poskrbi, da napetost narašča do ene točke potem pa pade na 0. Če kondenzatorja nebi bilo bi tok naraščal in pri neki vrednosti poškodoval transformator. Recimo, da se najprej vklopi Q1, potem bi na točki Y bila napetost 0V, na točki Z pa bi se napetost dvigovala do maksimalne vrednosti in nato spustila na 0V, ta proces se dogaja dokler kondenzator in tuljava ne naredita 1 polperiode. Po tem trenutku lahko napetost na točki Y začne naraščati in pri tem se Q2 vklopi. Q2 tranzistor odvede napetost na Z točki v zemljo, kar povzroči da je Q1 zaprt. Potem se postopek ponovi za Q2, ki dopolni drugi del periode kondenzatorja in tuljave.



Slika 6: shema ZVS vezja

3.3. ZRAČNA REŽA – ISKRIŠČE

Zračna reža, v našem primeru, iskrišče je neka določena razdalja med dvema nasprotnima površinama, ki ustvarjata zračni kondenzator. V iskrišču se ustvarjajo zelo kratki in zelo močni impulzi toka v primarni tuljavi. Deluje kot stikalo. Iskra preskoči tedaj, ko se napetost na kondenzatorju dvigne dovolj visoko, da doseže prebojno napetost zraka. Ko iskra preskoči se pretvori v ionizirajoči zrak (ki se ga tudi vonja) in postane prevodna plazma, ki deluje kot zaprto stikalo. Podobno se dogaja pri varjenju. S tem je omogočeno, da se ves naboj, ki je v kondenzatorju izprazni skozi primarno tuljavo. Ko se kondenzator izprazni, se iskra ugasne in zračna reža je spet odprta. Pri tem pojavu se sliši pikanje.



Slika 7: najina zračna reža

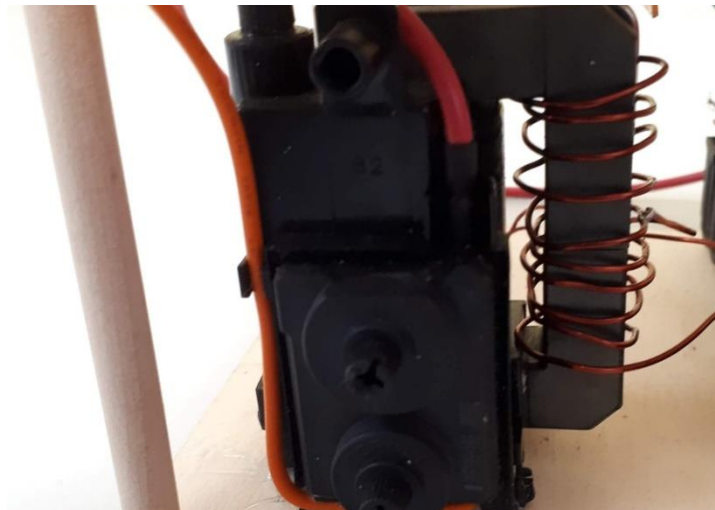
3.4. TRANSFORMATOR

Transformator je električna naprava, ki pretvarja izmenične napetosti na višji ali nižji nivo pri isti moči (P). Deluje na principu indukcije, torej se napetost inducira, ko se spreminja magnetni fluks. Deluje na AC napetost, ker je sestavljen iz železnega jedra so prisotne izgube. Pri indukciji nastane električna napetost, ki se giblje v magnetnem polju. Odvisna je od spreminjanja magnetnega polja (fluksa). Zato enosmerne napetost ne moremo transformirati, ker je magnetno polje konstantno in je sprememba fluksa 0. V železnem jedru imamo dvoje vrst izgub. Imamo izgube zaradi vrtilčnih tokov, ki nastanejo, ker AC magnetni pretok v železnem jedru inducira malo napetost, ki v železu požene vrtilčne tokove. Te izgube pa zmanjšamo z lamelam. Imamo pa še tudi histerezne izgube, ki nastopijo zaradi premagnetjenja. Pri realnem transformatorju se magnetne silnice zaključuje po navitju in tudi po zraku. Pri realnem transformatorju imamo poleg ohmske upornosti navitja tudi

induktivno upornost (R, X). Transformator je sestavljen iz primarnega in sekundarnega navitja. Med navitij je železno jedro, ki naredi močnejše magnetno polje.

Visokonapetostni ali »flyback« transformator je naprava, ki shranjuje energijo in je povezan z »flyback« pretvornikom. Primarno navitje je povezano z izvorom iz ZVS vezja (od tam se jemlje energija). Potem ko je primarno navitje izklopljeno od napajanja, se ta energija prenese na sekundar.

Visokonapetostni transformator je zasnovan za ustvarjanje visokonapetostnih žagastih signalov na visoki frekvenci. Uporablja se ga tudi v preklopnih napajalnikih iz nizke napetosti na visoke.



Slika 8: najin transformator FLYBACK RoHS JF 0501

4. POTEK DELA

Najprej sva kupila kit komplet Teslinega transformatorja. Zatem sva izdelala ZVS vezje, ki napaja visokonapetostni transformator. To vezje je zelo dobra izbira, saj pretvori DC

napetost v visoko frekvenčno AC napetost. Po vezju sva testirala visokonapetostni transformator. Imela sva RoHS JF0501 flyback transformator. Pri testiranju sva imela nekaj težav, saj transformator ni imel priložene dokumentacije oziroma sheme za priklop navitij. Med testiranjem sva ugotovila, da transformator dvigne napetost na okoli 10kV. Transformator je imel primarno stran odprto in brez navitja, imel je le železno jedro, zato je bilo potrebno naviti še 10 ovojev na primarno stran. Zatem sva na transformator priključila kondenzatorje, ki služijo povečanju naravne resonance primarnega dela Teslinovega transformatorja nato pa vse skupaj zalepila z vročim lepilom na leseno konstrukcijo. Pri lepljenju transformatorja sva morala paziti, da so bile nogice visokonapetostnega transformatorja dobro izolirane, saj se je med obratovanjem pojavilo iskrenje med njimi, kar pa bi lahko zažgalo elemente v okolici. Potem sva se lotila izdelave iskrišča. Zasnovala sva ga tako, da sva uporabila dve razvojni plošči, vanju zvirtala 3mm luknji, skozi luknji sva dala 2 vijaka, vijaka sva pritrdila z maticami, enega sva zalepila fiksno z vročim lepilom, drugega pa sva pustila, da se lahko zateguje in odteguje z izvijačem. Na konce vijakov sva pritrdila kapici, da se bo lažje isknilo in da bi jih lažje menjala. Na matico prvega vijaka sva pritrdila žico primarnega dela Teslinega transformatorja, ki gre vzporedno s kondenzatorji iz transformatorja, na drug vijak pa sva pritrdila zemljo. Za primarni del Teslinega transformatorja sva žico, ki gre iz kondenzatorjev ovila okoli valja, ki sva ga postavila na vrh konstrukcije. Nato sva v primarni del Teslinega transformatorja postavila sekundarni del, ki pa je bil sestavljen iz velikega števila ovojev. Nazadnje sva konec sekundarnega dela povezala z zemljo in na vrh sekundarja dala aluminijasto kroglo oziroma terminal, ki služi kot povečanje naravne kapacitivnosti sekundarnega dela. Ko je Teslin transformator pravilno deloval sva z njim prižigala neonsko svetilko, navadno žarnico in vodnik povezan na zemljo. Poskusila sva tudi se dotakniti strel ki so uhajale z zgornjega toroida.

5. RAZPRAVA

Za raziskovalno nalogo sva zaradi narave najinega dela, tj. izdelava vezja Teslinega transformatorja, postavila eno samo hipotezo:

- Vezje Teslinega transformatorja iz enosmerne napetosti generira visokofrekvenčno izmenično napetost, ki preko aluminijastega terminala prenaša energijo v okolico.

Hipotezo sva realizirala in vezje po pričakovanjih deluje. V procesu izdelave se je pojavilo veliko težav in nepredvidljivih situacij. Ne glede na to, da sva pri nalogi uporabila kit komplet, je bila izdelava predvsem zaradi pomanjkljive dokumentacije in velikega števila možnih pristopov, ki jih lahko najdemo na spletu, kar velik zalogaj. Problem pri nalogi so visoke napetosti, ki jih težko merimo z navadnimi merilnimi instrumenti, zato nimava veliko meritev, ki bi podkrepile teoretične osnove delovanja Teslinega transformatorja.

Pri testiranju delovanja sva poleg Teslinega transformatorja najprej postavila fluorescentno svetilko. Opazila sva, da je pri približni razdalji 10cm fluorescentna sijalka zasijala. Sijala je dokler je bila zračna reža oziroma iskrišče v kratkem stiku. Zatem sva v okolico postavila navadno žarnico, ki ni zasvetila ampak so se v njej pojavljale samo iskre. Navadna žarnica z žarilno nitko svetila ni zato, ker v njej ni plina kot ga vsebuje fluorescentna sijalka.

6. MOŽNOSTI NADGRADNJE IN RAZVOJA

Delovanje Teslinega transformatorja bi bilo potrebno najprej podkrepiti z ustreznimi merilnimi metodami in meritvami. V nadaljevanju bova za zabavo dodala vmesnike, ki bodo omogočali igranje glasbe. Zanimivo področje pa bi bila tudi raziskava na področju oddajanja radijskih signalov. Primeren bi bil tudi za testiranje elektromagnetne združljivosti pri razvoju vezij in sistemov. Lahko bi ga nadgradili seveda tudi tako, da bi mu povečali izkoristek in moč.

7. VARNOST

Teslin transformator je lahko zelo nevarna naprava, saj ustvarja visoke napetosti AC, ki so lahko smrtno nevarne. Ne sme se uporabljati:

- blizu ljudi z srčnimi spodbujevalniki
- blizu občutljivih elektronskih naprav
- blizu ne ozemljenih prevodnih delov

Pri izvajanju eksperimentov sva bila zelo previdna saj vseh učinkov pojavov, ki nastopajo pri velikih izmeničnih napetostih visokih frekvenc še ne pozna.

8. SEZNAM VIROV

<https://adammunich.com/zvs-driver/> (27.2.2019)

<http://onetesla.com/tesla-coil-faq> (25.2.2019)

https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_coil (26.2.2019)

<https://sl.wikipedia.org/wiki/Resonanca> (28.2.2019)

<https://sl.wikipedia.org/wiki/Nihanje> (1.3.2019)

https://www.w-online.com/web/en/passive_components_custom_magnetics/products_pbcmlanding_pages/FlybackTransformers.php?fbclid=IwAR3tgiIB-AykiLCGQXal7IGtmIBwbRQ9kE-CIYAezExqaXWks_GKAzDAVm4
(3.3.2019)

https://cdn.fbsbx.com/v/t59.2708-21/11710271_10207101170437913_1382925479_n.pdf/3-Transformator.pdf?nc_cat=111&nc_ht=cdn.fbsbx.com&oh=2aa71dd373e925fa152cbef2e324a840&oe=5C803FEF&dl=1&fbclid=IwAR0jWs1FmtMpZ6TbQlzhvVibx0XizSQhnDyhvhrtJ8497C9A2Ysp2vUkK3s (26.2.2019)