

Teslova tuljava in lopar proti mrčesu

Tehnika
Raziskovalna naloga

Raziskovalec: Maks Štefotič, 9. b
Mentor: mag. Marjan Tkavc, prof.

marec 2023
Osnovna šola Šentvid, Ljubljana

POVZETEK

Na osnovi YouTube, interneta in obravnave pri predmetu elektrotehnika je bilo ugotovljeno, da je možno narediti Teslovo tuljavo na osnovi loparja proti mrčesu. Sicer je običajno potrebno za izdelavo veliko dragih in nevarnih komponent. Tuljava je bila zasnovana in uspešno izdelana na izboljšanem vezju loparja proti mrčesu. Dodan je bil pomnoževalnik napetosti in večji izhodni kondenzator. Izdelana Teslova tuljava je poleg tega tudi bolj varna zaradi napajanja z nizko napetostjo. Preučevanje tako izdelane Teslove tuljave je lahko koristno tudi za šolske namene.

KAZALO VSEBINE

1. UVOD	5
1.1 Cilj raziskovalne naloge	5
1.2 Predstavitev hipotez.....	5
2. TEORETIČNI DEL.....	6
2.1 Nikola Tesla	6
2.2 Klasična Teslova tuljava.....	6
2.2 Električni lopar proti mrčesu	7
3. EMPIRIČNI DEL.....	9
3.1 Metode dela	9
3.2 Pripomočki in gradiva.....	14
4. REZULTATI.....	15
4.1 Meritve	15
4.2 Ugotovitve	15
5. RAZPRAVA.....	16
6. ZAKLJUČEK	17
7. LITERATURA	18

KAZALO SLIK

Slika 1: Teslova tuljava (Smith, 2016)	6
Slika 2: Vezje klasične Teslove tuljave (Tkavc, 2017)	7
Slika 3: Uporabljen lopar proti mrčesu	7
Slika 4: Vezje loparja proti mrčesu.....	8
Slika 5: Sekundarna tuljava v dveh delih.....	9
Slika 6: Primarna tuljava v dveh delih	10
Slika 7: Iskrišče	10
Slika 8: Shema izdelanega pomnoževalnika napetosti	11
Slika 9: Pomnoževalnik napetosti, 13 kondenzatorjev in 63 diod	11
Slika 10: Shema sestave kondenzatorja v prerezu.....	12
Slika 11: Izdelani izhodni kondenzator iz plastičnih vreč in aluminijaste folije	13
Slika 12: Vezje končne različice izdelane Teslove tuljave	13
Slika 13: Končna različica izdelane Teslove tuljave.....	14
Slika 14: Pravilna in nepravilna stopnja	17

1. UVOD

Pred časom sem gledal videe na YouTube in naletel na video o elektrotehniki. Ravno takrat smo v šoli imeli izbirni predmet elektrotehnika. Tako me je elektrotehnika zelo pritegnila. Potem sem veliko časa gledal videe o elektriki.

Nkega dne sem opazil posnetke Teslove tuljave. Nato sem pogledal veliko videov o Teslovi tuljavi. To me je tako zanimalo, da sem tudi jaz hotel narediti Teslovo tuljavo. Vendar sem opazil, da potrebuješ zelo veliko velikih in tudi dokaj nevarnih komponent, kar bi tudi veliko stalo. Probal sem najti kakšen cenejši način, da bi naredil Teslovo tuljavo.

Na internetu sem našel vezje Teslove tuljave, ki je zasnovano na električnem loparju proti mrčesu in videl, da ima podobno vezje kot klasična tuljava. Potem me je zanimalo, če je mogoče narediti dokaj močno Teslovo tuljavo na osnovi električnega loparja proti mrčesu in kako lahko to izboljšam.

1.1 Cilj raziskovalne naloge

Cilj raziskovalne naloge je narediti Teslovo tuljavo na osnovi električnega loparja proti mrčesu in jo čim bolj izboljšati.

1.2 Predstavitev hipotez

Hipoteza 1

S predelavo električnega loparja proti mrčesu lahko izdelam različico Teslova tuljave.

Hipoteza 2

Izhodni kondenzator lahko izdelam iz plastičnih vrečk in aluminijaste folije.

Hipoteza 3

Z dodajanjem kondenzatorjev lahko povečam dolžino iskre, ki meri vsaj 4-5 cm v dolžino.

Hipoteza 4

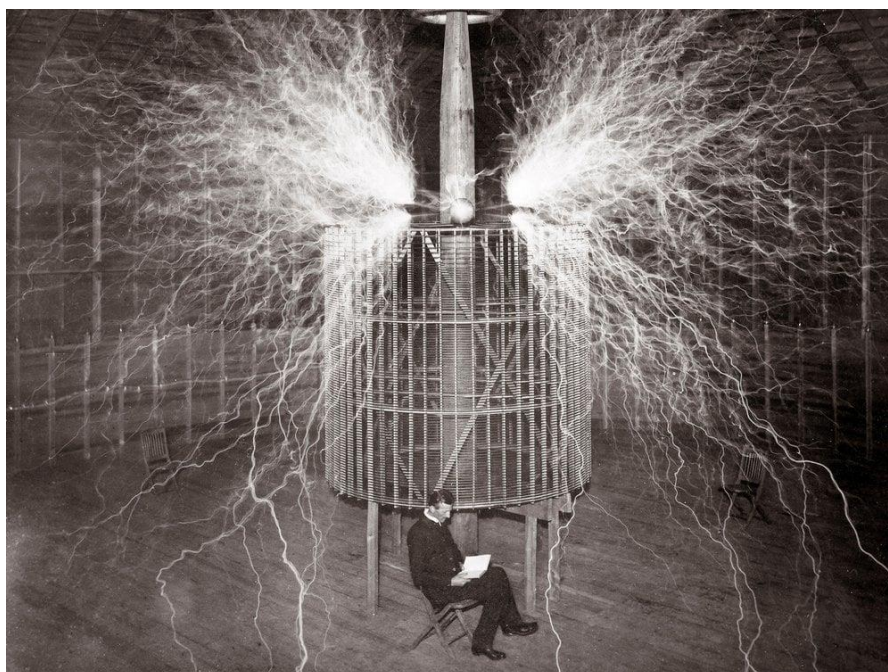
Teslova tuljava na osnovi električnega loparja proti mrčesu deluje tudi brez izhodnega kondenzatorja.

2. TEORETIČNI DEL

2.1 Nikola Tesla

Nikola Tesla se je rodil 10. julija 1856 v Smiljanu v Liki (zdaj na Hrvaškem). Ko je končal osnovno šolo na Hrvaškem je študiral fiziko, inženirstvo in filozofijo v Gradcu in Pragi v takratnem Avstro-Ogrskem cesarstvu. Po kratkem delu v Franciji in Nemčiji je emigriral v ZDA in delal v Edisonovi družbi. Po nesporazumu z Edisonom je ustanovil svoje podjetje. Edison je zagovarjal enosmerni tok, Tesla pa izmenični tok. Na koncu je Tesla zmagal. V nadaljevanju je izumil zelo veliko novih izumov, pomembnih za človeštvo, vendar ni bil zelo dober poslovnež. Okoli leta 1915 Tesla ni imel več večjih investorjev. Zadnja leta je preživel v hotelu New Yorker na Manhattnu in umrl 7. januarja 1943 (»Nikola Tesla«, 2023).

Eden od njegovih vidnejših izumov je bila tudi Teslova tuljava. Tesla je svojo tuljavo izumil leta 1891 (»Tesla coil«, 2023). Slika 1 prikazuje Nikolo Teslo pred njegovo znamenito tuljavo.



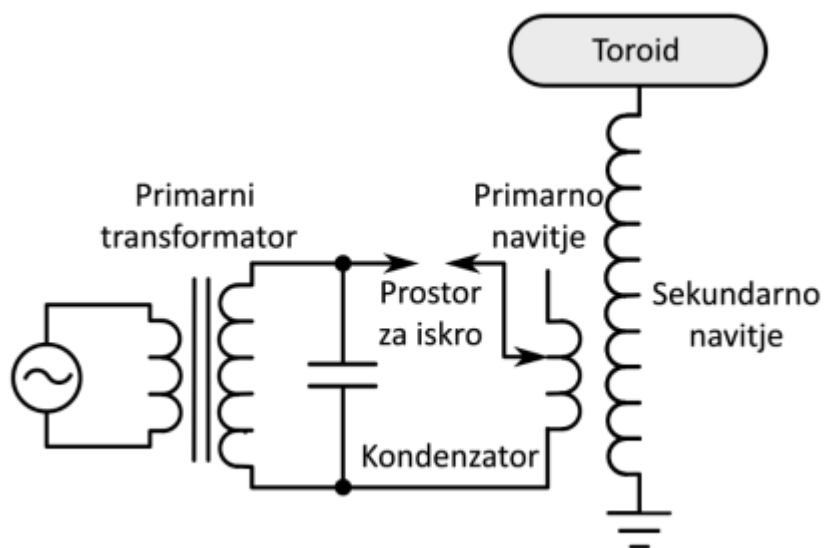
Slika 1: Tesla in njegova tuljava (Smith, 2016)

2.2 Klasična Teslova tuljava

Teslova tuljava uporablja primarni transformator, ki dvigne napetost na več tisoč voltov. Naslednji sestavni del je kondenzator, za njim pa sledi iskrišče (Tkavc, 2017). Slika 2 prikazuje vezje te tuljave.

Napetost, ki jo ustvari primarni transformator, napolni kondenzator. Napetost kondenzatorja se ves čas povečuje dokler ni napetost na kondenzatorju dovolj velika, da zrak med kontaktoma iskrišča postane prevoden in sprosti vso napetost iz kondenzatorja na primarno navitje tuljave.

Kondenzator in primarno navitje Teslove tuljave oscilira v intervalu izmenične napetosti dokler se energija ne porabi. Da pa iz toroida na vrhu letijo iskre, morata biti kondenzator in prostor za iskro usklajena z resonančno frekvenco Teslove tuljave.



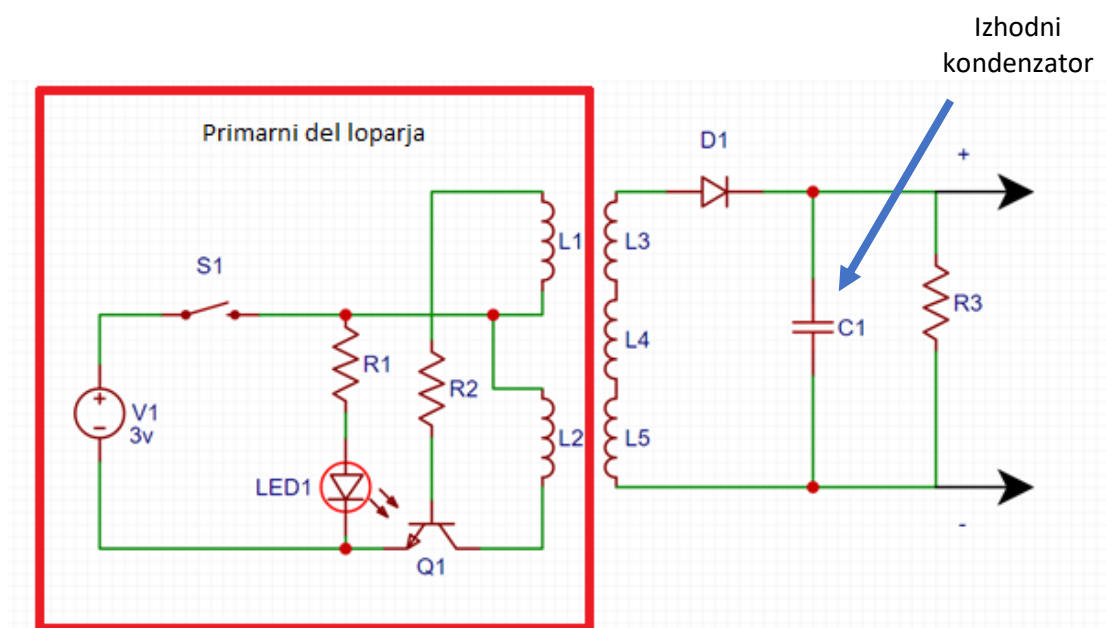
Slika 2: Vezje klasične Teslove tuljave (Tkavc, 2017)

2.2 Električni lopar proti mrčesu

Električni lopar proti mrčesu (Slika 3) deluje na istem principu kot klasična Teslova tuljava, le da je poenostavljen. Prvi del vezja spremeni enosmerno napetost 3 V dveh baterij AA vezanih zaporedno v izmenično napetost (Slika 4). Transformator jo nato zviša na 500 V. Izhod vezja je povezan na dve oz. tri mreže loparja iz prevodne žice, ki delujejo kot iskrišče. Med njimi se sproži iskra, ki ubije npr. komarja, ko prileti vmes.



Slika 3: Uporabljen lopar proti mrčesu



Slika 4: Vezje loparja proti mrčesu

3. EMPIRIČNI DEL

3.1 Metode dela

Na internetu sem najprej gledal posnetke o Teslovi tuljavi. Ko sem bolje razumel, kako deluje Teslova tuljava in katere vrste tuljav so, sem pomislil, da bi lahko tudi jaz naredil Teslovo tuljavo na osnovi električnega loparja proti mrčesu. Veliko sem o tem gledal na YouTube (Blueprint, 2022; ElectroBOOM, 2022; GreatScott!, 2022; Plasma Channel, 2022) in na internetu, vendar nisem našel projekta, ki bi bil točno tak, kot sem ga imel v mislih – da je dovolj enostaven z velikimi iskrami. Večina so naredili tuljavo samo z vezjem električnega loparja proti mrčesu ali pa so uporabili popolnoma drugačno vezje, brez dodatkov oz. ojačevalnikov za večjo napetost. Odločil sem se, da bom najprej izdelal enostavno Teslovo tuljavo iz loparja ter jo nato poskušal izboljšati.

Izdelava Teslove tuljave na osnovi loparja (POSKUS 1)

Najprej sem izdelal sekundarno navitje. Ker na začetku nisem vedel, koliko ovojev je potrebno, sem zato na koncu imel tuljavo iz dveh delov (1500 ovojev na plastični cevi s premerom 4 oz. 3 cm in dolžine 35 oz. 19 cm, Slika 5). Tuljavo sem tudi prelil z epoksi smolo, da je izolacija boljša. Potem sem naredil še primarno navitje (6 ovojev aluminijastega traku okoli cevi s premerom 6 cm, Slika 6). Za iskrišče sem uporabil zamašek od plastenke in dva vijaka (Slika 7).

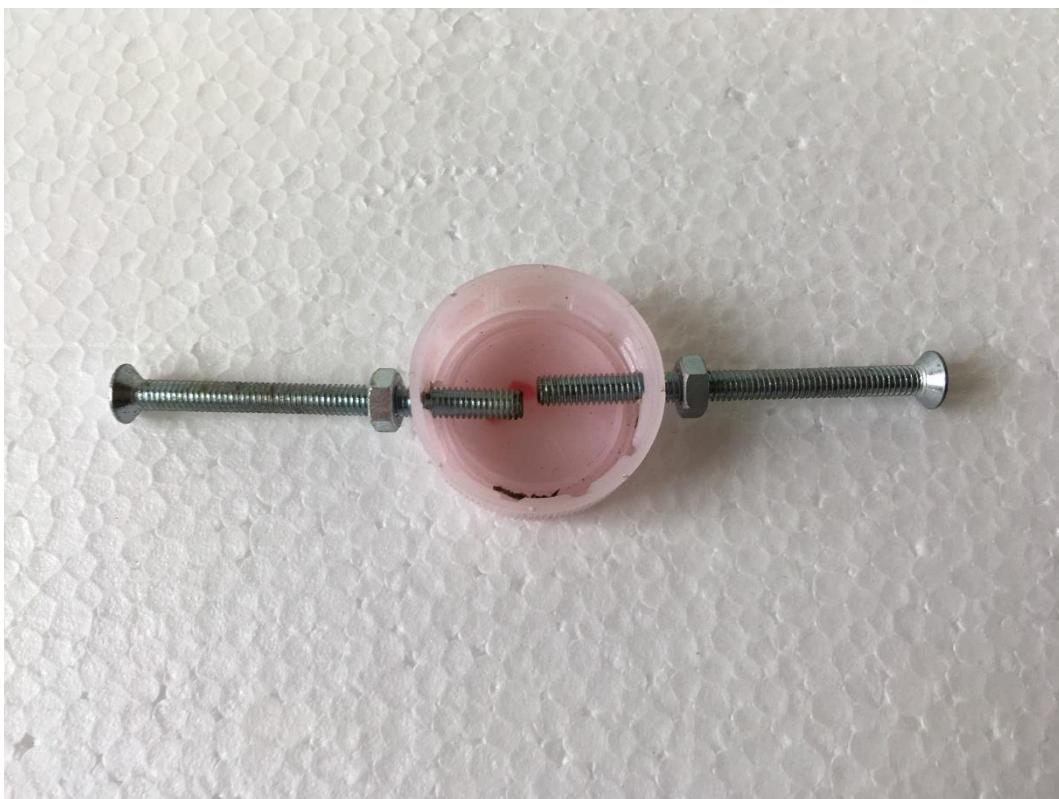
Na koncu sem izdelal Teslovo tuljavo na osnovi električnega loparja proti mrčesu, ki je delovala, a sem dobil samo 2 cm velike iskre. Te so bile na zgornjem delu sekundarne tuljave, medtem ko so bile iskre v iskrišču dolge samo 1 do 2 mm.



Slika 5: Sekundarna tuljava v dveh delih



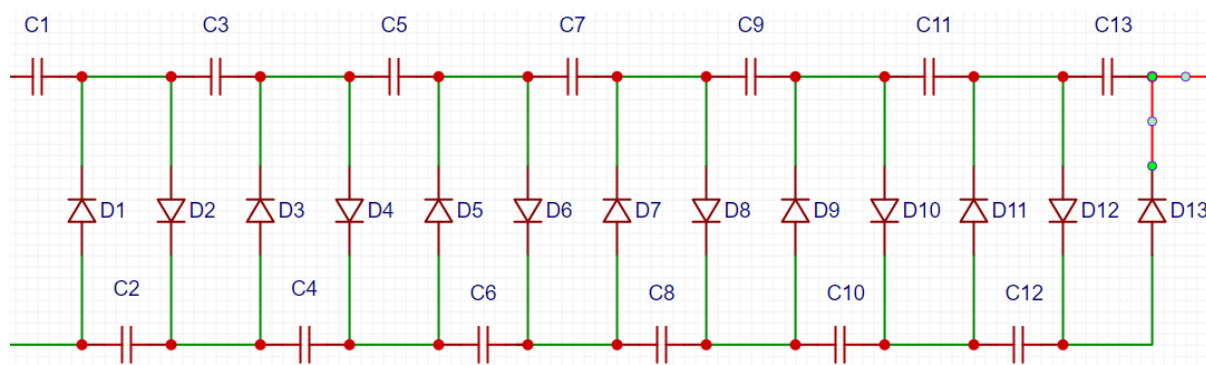
Slika 6: Primarna tuljava v dveh delih



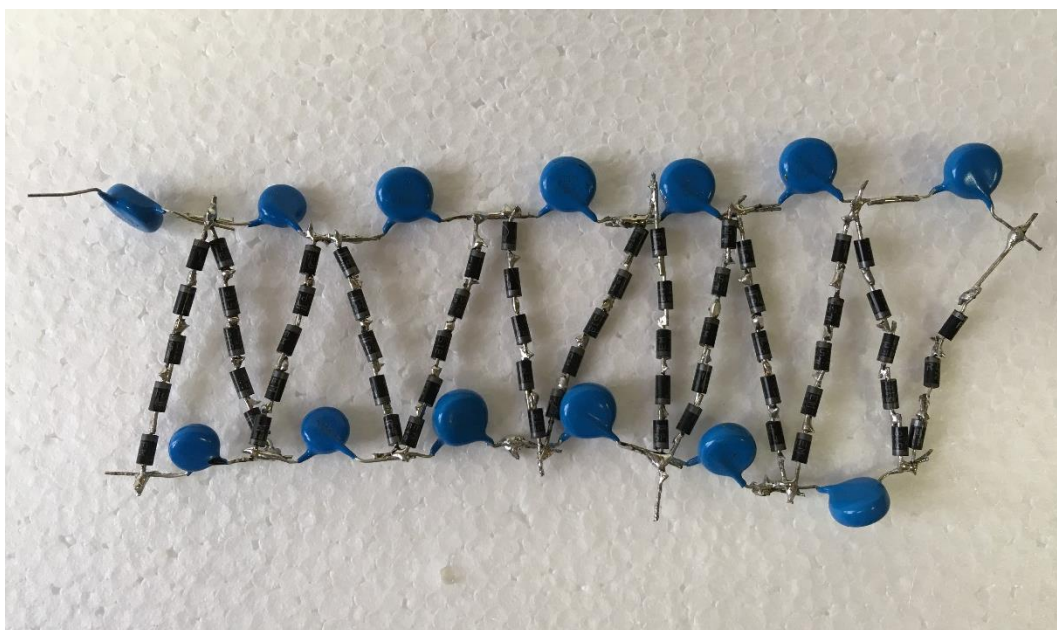
Slika 7: Iskrišče

Izdelava pomnoževalnika napetosti (POSKUS 2)

Nato sem na YouTube iskal rešitev, kako zvečati napetost z namenom podaljšati dolžino isker. Pritegnil me je video o električni šok palici na osnovi električnega loparja (Tomas Kim, 2022), v katerem je uporabljen pomnoževalnik napetosti. Ta zviša izhodno napetost s pomočjo kondenzatorjev in diod. Na enak način sem tako naredil pomnoževalnik napetosti, ki je sestavljen iz 13 kondenzatorjev kapacitete 1 nF in 65 diod napetosti 2000 V (Slika 8, Slika 9).



Slika 8: Shema izdelanega pomnoževalnika napetosti



Slika 9: Pomnoževalnik napetosti, 13 kondenzatorjev in 63 diod

Zato da sem lahko uporabil pomnoževalnik napetosti, sem moral vezje loparja prilagoditi - odstraniti obstoječi izhodni kondenzator, ker je bila njegova prebojna napetost premajhna, in diodo. Nato sem na konec vezja povezal narejeni pomnoževalnik napetosti. Na tuljavi sem dobil le nekaj milimetrov dolge iskre, v iskrišču pa dober 1 cm. S tem še nisem bil zadovoljen, saj so se iskre zmanjšale.

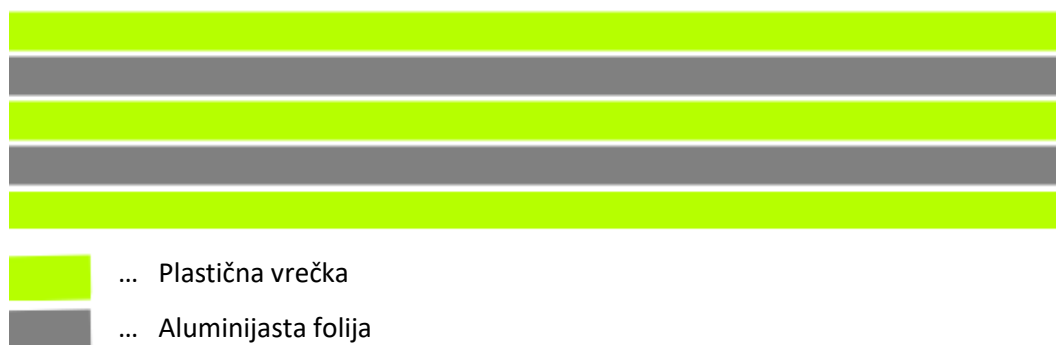
Izdelava izhodnega kondenzatorja (POSKUS 3)

Za daljše iskre sem potreboval večji izhodni kondenzator, kar sem sklepal iz osnovnega vezja loparja in klasične Teslove tuljave. Izhodni kondenzator združi vso napetost v pomnoževalniku napetosti. Problem je nastal, ker nisem imel pravega kondenzatorja z dovolj veliko prebojno napetostjo in dovolj veliko kapaciteto.

Na YouTubu sem našel opisano izdelavo visokonapetostnega kondenzatorja (Simply Put, 2022). Kondenzator sem poskušal narediti iz plastičnih vrečk in aluminijaste folije na osnovi formule za kapaciteto kondenzatorja C , ki je odvisna od velikosti plošč A , debeline d in dielektričnosti ε , pri čemer je ε_0 dielektrična konstanta:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot A}{d}$$

Naredil sem ga tako, da sem zložil izmenoma tri plasti plastične folije (plastična vrečka) in dve plasti aluminijaste folije (Slika 10). Kapaciteta tega kondenzatorja je 10-12 nF, kar sem izmeril z multimetrom. To je približno petkrat več kot osnovni izhodni kondenzator .



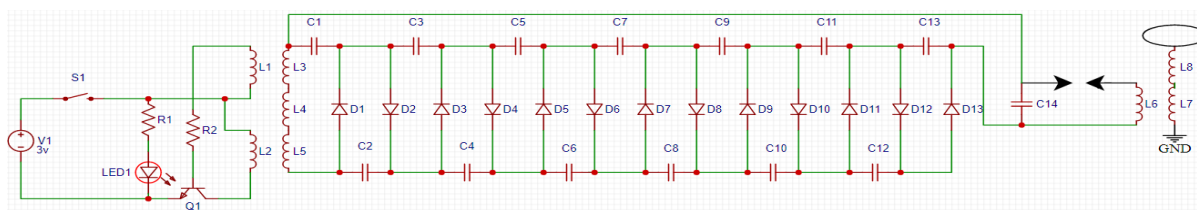
Slika 10: Shema sestave kondenzatorja v prerezu



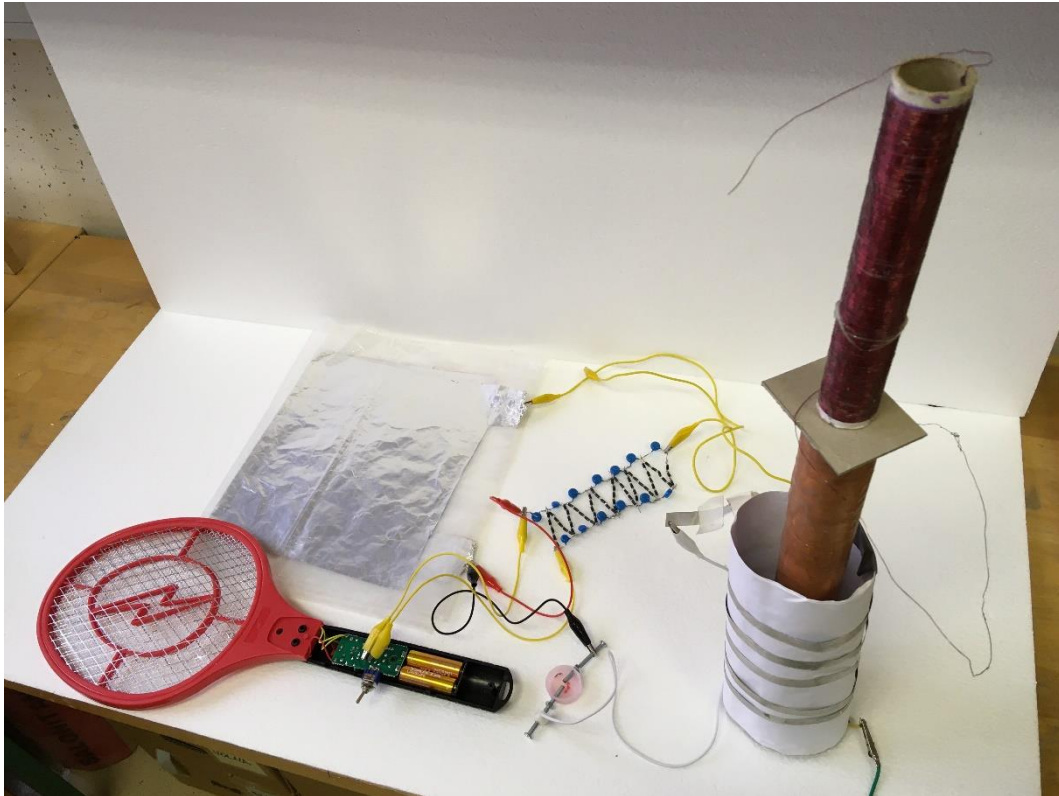
Slika 11: Izdelani izhodni kondenzator iz plastičnih vreč in aluminijaste folije, enkrat prepognjen

Iskre po tej dodatni izboljšavi so bile precej večje - na tuljavi 5 do 8 cm, v iskrišču pa 5 mm, vendar veliko bolj močne.

Če ne bi bilo tega kondenzatorja bi bile na iskrišču dolge in šibke iskre in Teslova tuljava bi delovala zelo slabo, ker ne bi bilo dovolj energije. Na en priključek velikega kondenzatorja je povezan konec pomnoževalnika napetosti, na drugega pa začetek pomnoževalnika napetosti. En priključek kondenzatorja je povezan na iskrišče. To pa je povezano na induktor in potem na drugi priključek kondenzatorja. To omogoči osciliranje Teslove tuljave, ko se sproži iskra v iskrišču. Slika 13 prikazuje končno različico izdelane Teslove tuljave, Slika 12 pa vezje.



Slika 12: Vezje končne različice izdelane Teslove tuljave



Slika 13: Končna različica izdelane Teslove tuljave

3.2 Pripomočki in gradiva

- električni lopar proti mrčesu
- aluminijasta folija
- aluminijasta pločevina iz pločevinke
- plastične vrečke
- bakrena žica
- plastična cev
- epoksi smola
- pokrovček od plastenke
- dva vijaka
- električne ščipalke
- 13 kosov 1 nF kondenzator
- 63 kosov 2000 V diode
- spajkalnik in cin
- dve bateriji (AA, 1,5 V)
- multimeter

4. REZULTATI

4.1 Meritve

Dolžina isker na sekundarni tuljavi:

POSKUS 1: dolžina isker 2 cm

POSKUS 2: dolžina isker 3 mm

POSKUS 3: dolžina isker 5-8 cm

4.2 Ugotovitve

Hipoteza 1

S predelavo električnega loparja proti mrčesu lahko izdelam različico Teslova tuljave.

POTRJENA

Različico Teslove tuljave je možno narediti iz električnega loparja, ker je vezje zelo podobno vezju klasične Teslove tuljave in ker je veliko dobrih virov za izdelavo.

Hipoteza 2

Izhodni kondenzator lahko izdelam iz plastičnih vrečk in aluminijaste folije.

POTRJENA

Kondenzator izdelan iz plastičnih vrečk in aluminijaste folije je preprostejša verzija navadnih kondenzatorjev in ima zato enake lastnosti.

Hipoteza 3

Z dodajanjem kondenzatorjev lahko povečam dolžino iskre, ki meri vsaj 4-5 cm v dolžino.

POTRJENA

Z dodajanjem kondenzatorjev lahko povečam dolžino iskre za 4-5 cm v dolžino in tudi več, ker pomnoževalnik napetosti, ki je sestavljen iz kondenzatorjev zviša napetost in izhodni kondenzator zviša energijo.

Hipoteza 4

Teslova tuljava na osnovi električnega loparja proti mrčesu deluje tudi brez izhodnega kondenzatorja.

OVRŽENA

Teslova tuljava na osnovi električnega loparja proti mrčesu brez glavnega kondenzatorja ne deluje, ker ni dovolj energije.

5. RAZPRAVA

Izdelava sekundarnega navitja

Prvi večji izziv je bila izdelava sekundarnega navitja, saj sem potreboval zelo tanko transformatorsko žico oz. vodnik, ki jo je bilo treba tudi zelo tesno oviti okoli cevi. Tudi dolžine so bile problem, kako jih izračunati. Da bi ugotovil, koliko žice potrebujem, sem to izračunal iz obsega cevi navitja (dolžina za en ovoj) in števila ovojev, kar je prišlo okrog 180 m žice. Uporabil sem žico premera 0,28 mm. Dolžino cevi pa sem izračunal iz premera žice in števila ovojev.

Naslednji izziv pri sekundarni tuljavi je bilo navijanje žice. Navijanje bi lahko naredil ročno. Toda verjetno bi trajalo zelo veliko časa. Zato sem poiskal hitrejši način. Idejo sem dobil na YouTubu (Science Buddies, 2014). Uporabil sem vrtalnik in na sveder ovil toliko lepilnega traku, da je bil premer valja iz lepilnega traku malo večji (za kakšen mm) kot cev. Nato sem nanj nataknil cev, da je bilo naleganje tesno. Na enem koncu sem naredil luknjico, čez potisnil bakreno žico in luknjico zapolnil z lepilom, tako da sem žico pritrdil. Počasi sem vrtel vrtalni stroj in žica se je ovijala okoli cevi. To je bilo kar težko doseči, saj sem moral svitek žice pritrditi tako, da se ni premikal ampak samo vrtel. Seveda je bilo treba tudi pritrditi cev in skrbeti, da so bili ovoji zaviti tesno skupaj. Po nekaj ovajih sem občasno ovoje nekoliko zalepil, da se ne bi odvili. Navijanje je trajalo približno dve uri.

Podobno sem rešil tudi premaz z epoksijem. Med nanašanjem sem uporabil vrtalnik za vrtenje tuljave, tako da se je epoksi razporedil enakomerno.

Manjšo navitje, ki sem izdelal čisto na začetku, preden sem delal to Teslovo tuljavo, sem dodal, da bi imelo sekundarno navitje več ovojev. To se je izkazalo kot dobra rešitev.

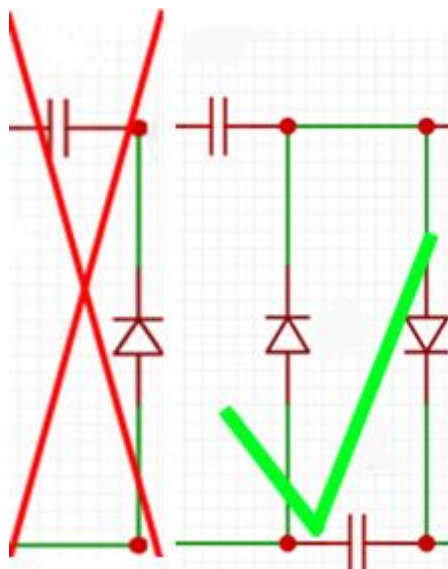
Izhodni kondenzator

Veliko težav sem imel preden sem izvedel za izhodni kondenzator. Nisem vedel, zakaj so bile iskre tako majhne (komaj se jih je dalo videti). Veliko sem se zanimal in iskal rešitev, a nisem našel pojasnila. Nekega dne sem šel na ogled Vegove gimnazije in srednje šole in sem profesorju razlagal mojo raziskovalni nalogo. Pojasnil mi je, da brez izhodnega kondenzatorja ni dovolj energije.

Pomnoževalnik napetosti

Pozorni bralec lahko opazi, da ima pomnoževalnik napetosti 63 diod namesto 65 (Slika 13). To je zato, ker sem na začetku imel samo 12 kondenzatorjev in 60 diod, kasneje pa sem našel še en kondenzator in samo tri diode. Ker sem želel čim boljše delovanje Teslove tuljave, sem se odločil, da dodam tudi te. Na moje presenečenje je delovalo. Ne vem točno zakaj deluje.

Pri pomnoževalniku napetosti govorimo o stopnji pomnoževanja, kar sem odkril skoraj prepozno. Na začetku sem mislil, da je ena stopnja en kondenzator in ena dioda (v mojem primeru 5 diod vezanih zaporedno). Vendar sem nato na internetu opazil, da je ena stopnja sestavljena iz dveh kondenzatorjev in dveh diod. Vsaka dodatna stopnja dveh diod in dveh kondenzatorjev poveča izhodno napetost za dvakrat (»Voltage multiplier«, 2023). Slika 14 prikazuje pravilno oz. nepravilno sestavo stopnje.



Slika 14: Pravilna in nepravilna stopnja

6. ZAKLJUČEK

V tej raziskovalni nalogi sem ugotovil, da je možno narediti Teslovo tuljavo samo iz vezja loparja proti mrčesu in da se lahko to vezje tudi izboljša. S tem sem izdelal Teslovo tuljavo na enostaven in cenejši način ter preveril veljavnost hipotez.

Zaradi napajanja z nenevarno napetostjo je uporaba tuljave tudi varnejša. Delovanje tuljave je preprostejše. Tuljavo bi se dalo uporabljati tudi za šolske namene, saj preučuje osnove klasične Teslove tuljave. Tuljavo bi se dalo še izboljšati in polepšati.

7. LITERATURA

Blueprint (29. 9. 2018). *SLAYER EXCITER - Tutorial, Explanation, and More* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=AehL3BodduE>

GreatScott! (23. 4. 2017). *Make your own Tesla Coil (Part 1) || Slayer Exciter Circuit* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=LbTyEratSTI>

Nikola Tesla. (7. 1. 2023). V *Wikipedia: Simple English* https://simple.wikipedia.org/wiki/Nikola_Tesla

Plasma Channel (2. 11. 2017). *DIY 3 volt tesla coil MUSEUM QUALITY* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=zbV1zyg_4qU

Science Buddies. (10. 7. 2014). *How to Wind a Wire Coil with a Power Drill* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=Xl63aqWaTk>

Simply Put (21. 2. 2020). *Homemade Capacitor – Just Aluminium Foil, Paper and a Few Surprise Discoveries* [Video].]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=kGfZdw6WaQY>

Smith, R. (25. 4. 2016). *Nikola Tesla's Struggle to Remain Relevant*. Smithsonian Magazine. <https://www.smithsonianmag.com/travel/nikola-tesla-museum-belgrade-inventor-electricity-smithsonian-journeys-travel-quarterly-180958881/>

Tesla coil. (18. 1. 2023). V *Wikipedia: simple english* https://simple.wikipedia.org/wiki/Tesla_coil

Tkavc, S. (2017). *Teslova tuljava – njena izdelava in potencial za učenje*, [raziskovalna naloga], Gimnazija Celje. <https://www.knjiznica-celje.si/raziskovalne/4201703973.pdf>

Tomas Kim (2. 12. 2016). *How to make a Taser from an electric fly swatter* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=teTdthXGqRc>

Voltage multiplier. (17. 2. 2023). V *Wikipedia: the free encyclopedia*. https://en.wikipedia.org/wiki/Voltage_multiplier