

»MLADI ZA NAPREDEK MARIBORA 2017«

34. srečanje

TESLOV TRANSFORMATOR Z NE555

Raziskovalno področje: **ELEKTROTEHNIKA, ELEKTRONIKA**

Raziskovalna naloga

Avtor:	PRIMOŽ SMOGAVEC
Mentor:	ROBERT GAŠPARIČ
Šola:	SREDNJA ELEKTRO-RAČUNALNIŠKA ŠOLA MARIBOR

Maribor, januar 2017

Kazalo

Kazalo slik	3
1. POVZETEK	4
2. ZAHVALA	4
3. UVOD	5
4. VSEBINSKI DEL.....	6
4.1 Teslov transformator	6
4.2 Solid State Tesla Coil.....	6
4.3 Zasnova mojega SSTC-ja	7
4.3.1 Napajalnik.....	7
4.3.2 Shema Teslovega transformatorja.....	10
4.3.3 Glavne komponente vezja	11
4.4 Izdelava.....	13
4.4.1 Izdelava primarnega in sekundarnega navitja	13
4.4.2 Izdelava vezja.....	14
4.4.3 Izdelava ogrodja in pritrditev elementov	16
4.5 Končni izdelek.....	17
5. MODIFIKACIJA ZA POJOČ TESLOV TRANSFORMATOR.....	19
6. DRUŽBENA ODGOVORNOST	20
7. PRILOGE.....	21
8. VIRI	22

Kazalo slik

Slika 1: Principielna shema Teslovega transformatorja z iskriščem	6
Slika 2: Toroid.....	7
Slika 3: Enačba za izračun resonančne frekvence	7
Slika 4: Napajalni del SSTC-ja.....	8
Slika 5: a) pozitivna polperioda b) negativna polperioda	8
Slika 6: Transformator (230VAC/24VAC)	9
Slika 7: Uporabljen mostič	9
Slika 8: Elektrolitski kondenzator za glajenje napetosti (4700uF,50V).....	9
Slika 9: Regulator napetosti.....	10
Slika 10: Shema SSTC-ja.....	10
Slika 11: Zgradba časovnega vezja 555.....	11
Slika 12: Čip DS0026	12
Slika 13: Zgradba MOSFET tranzistorja – prerez.....	12
Slika 14: Primarno navitje.....	13
Slika 15: Sekundarno navitje med izdelavo	14
Slika 16: Končano sekundarno navitje.....	14
Slika 17: El. shema v programu Eagle.....	15
Slika 18: Razporeditev elementov na ploščico	15
Slika 19: Končano tiskano vezje	16
Slika 20: Plošči z izvrtinami za pritrditev komponent (pred barvanjem)	16
Slika 21: Sestavljen Teslov transformator (brez povezav)	17
Slika 22: Končni izdelek.....	17
Slika 23: Končno vezje	18
Slika 24: Iskra	19
Slika 25: Shema možne modifikacije	19
Slika 26: Tiskano vezje z vsemi elementi	21
Slika 27: Sestavljanje Teslovega transformatorja	21
Slika 28: Vijaki za pritrditev tiskanega vezja	21
Slika 29: Uporabljen hladilnik za MOSFET tranzistor	22

*Vse slike, pod katerimi ni napisanega vira, so od avtorja.

1. POVZETEK

V moji raziskovalni nalogi bom predstavil Teslov transformator sestavljen iz elektronskih elementov oz. SSTC¹. Najprej bom pojasnil splošno delovanje in namen Teslovega transformatorja, kasneje pa bom predstavil postopek načrtovanja in izdelavo transformatorja. Na koncu pa bo na kratko opisana tudi možnost modulacije za Pojoč Teslov transformator.

2. ZAHVALA

Rad bi se zahvalil mentorju za vse napotke, ki sem jih dobil pri izdelavi in pisanju raziskovalne naloge. Prav tako pa bi se rad zahvalil sošolcu, ki mi je priskrbel veliko elektronskih komponent za izdelavo transformatorja.

¹ SSTC (krajše za angl. Solid State Tesla Coil), Teslov transformator iz elektronskih elementov

3. UVOD

Za izdelavo raziskovalne naloge sem se odločil, ker so me zanimala podrobnosti delovanja Teslovih transformatorjev, prav tako pa sem imel željo razviti svoj lastni transformator, ki naj bi bil cenovno dostopen, z namenom testiranja. Besedilo v raziskovani nalogi bom napisal tehniško razumljivo z namenom, da bi mladim raziskovalcem služila kot priročnik za izdelavo Teslovega transformatorja.

V tej raziskovalni nalogi bom raziskoval in izdelal Teslov transformator z uporabo elektronskih elementov oz. SSTC². Navadni transformatorji uporabljajo tako imenovan Spark Gap³ oz. iskrišče, in so zato glasni pa tudi dokaj nevarni, medtem kot pri SSTC-jih zaradi elektronske izvedbe posebne nevarnosti za uporabnika ni.

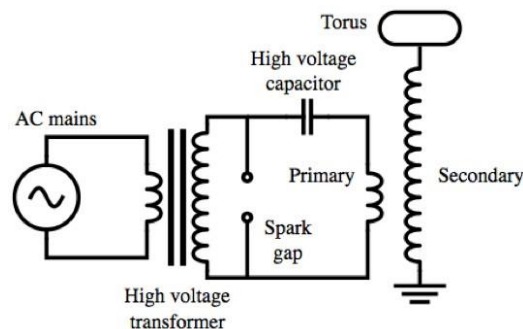
² SSTC (krajše za angl. Solid State Tesla Coil), Teslov transformator iz elektronskih elementov

³ iskrišče (angl. Spark Gap), iskrišče je sestavljeno iz dveh prevodnikov, ki sta krajevno premaknjena, z namenom, da med njima preskoči električna iskra

4. VSEBINSKI DEL

4.1 Teslov transformator

Teslov transformator je električna, transformatorska, resonančna naprava, ki jo je leta 1891 izumil Nikola Tesla, z namenom el. napajanja za njegov »Sistem električne razsvetljave«. Njegova ideja je bila, da bi izdelal velikanski visokofrekvenčni transformator s katerim bi lahko brezžično napajali el. porabnike po celem svetu, tako da bi prenašali el. energijo na brezžični način na velike razdalje. Ker velikem izumitelju ni uspelo doseči tega cilja, naprava v praksi ni zaživela, zato jo dandanes uporabljamo predvsem v izobraževalne namene in za zabavo.



Slika 1: Principielna shema Teslovega transformatorja z iskriščem

(vir: <http://www.askamathematician.com/2010/10/q-how-does-a-tesla-coil-work-2/>)

4.2 Solid State Tesla Coil

SSTC Teslov transformator ima na primarni strani gonilno elektronsko vezje sestavljeno iz polprevodnikov in ostalih elektronskih elementov. Sekundarni del je narejen iz plastične cevi, na katero je navita tanka, bakrena, lakirana žica. En konec navitja je ozemljen, drugi konec pa je priključen na t.i. »kapacitivno kapo«, ki pa je običajno narejena v obliki toroida iz aluminijaste, upogljive cevi. Kapacitivna kapa služi za porazdelitev električnega polja transformatorja in za pošiljanje el. energije v prostor.



Slika 2: Toroid

(vir: <http://www.teslacoildesign.com/construction.html>)

Kapacitivnost tega dodatka na vrhu sekundarne tuljave, ter induktivnost sekundarnega tvorita skupaj LC vezje, ki potem vzdržuje resonančno frekvenco, ki jo lahko izračunamo po enačbi:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Slika 3: Enačba za izračun resonančne frekvence

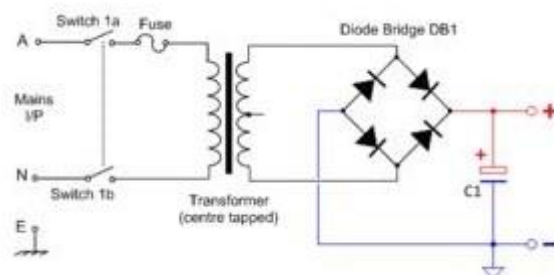
(vir: <http://www.loneoceans.com/labs/sstc2/#Intro>)

4.3 Zasnova mojega SSTC-ja

4.3.1 Napajalnik

Kot pri vsaki električni napravi je tudi tukaj bilo potrebno najprej poskrbeti za ustrezno napajanje naprave. Napajalnik je bil zahteven projekt, saj je moral omogočiti napajanje z dovolj velikim tokom za nemoteno delovanje transformatorja. Veliko novejših »Switch Mode« napajalnikov ne bi delovalo, zaradi vgrajene zaščite pred preobremenitvijo, ki pa bi pogosto izklapljala napajalno napetost.

Pri svojem SSTC - ju sem se odločil, da bom za napajalnik izbral kar neregulirano napajanje, ki sem ga realiziral z transformatorjem (230/24VAC), Greatzovim usmerniškim mostičem in kondenzatorjem. Na izhodu sem dobil enosmerno el. napetost, 34V (Po enačbi: 24VAC(izhod transformatorja)*1,41(konstanta pri pretvorbi)=34VDC).



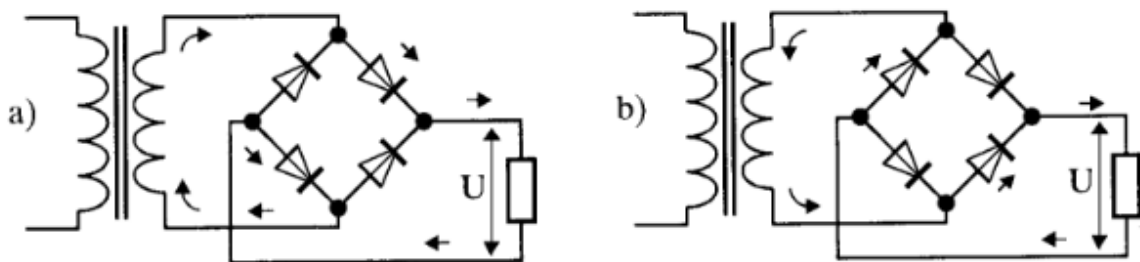
Slika 4: Napajalni del SSTC-ja

(vir: <http://www.instructables.com/>)

Vežalni načrt napajalnika je prikazan na sliki 4, opis delovanja pa bom opisal v nadaljevanju.

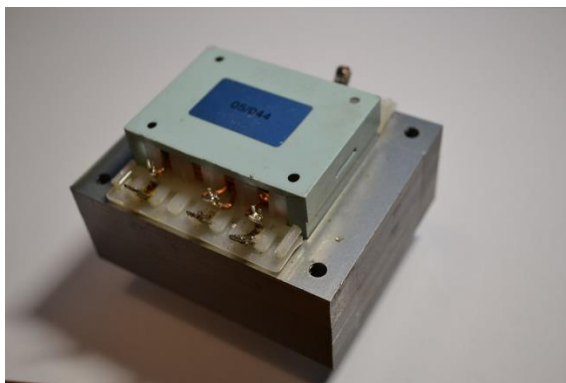
Delovanje usmernika je takšno da v prvi polperiodi napajalne izmenične napetosti prevajata diodi D1 in D3. Tok teče skozi diodo D1 preko bremena R in se zaključuje v transformatorju. V drugi polperiodi je polariteta na transformatorju obrnjena, tok teče najprej skozi diodo D2, skozi breme R in D4 ter se zaključuje v transformatorju.

Padec napetosti na mostičku je enak dvema padcema napetosti na diodi (1,4V). Zaporna napetost, ki jo morajo diode prenesti je enaka U_M transformatorja.

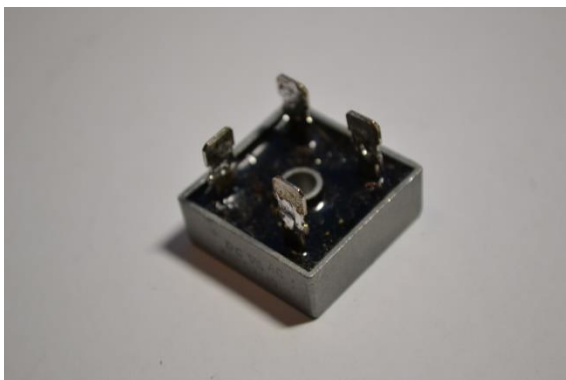


Slika 5: a) pozitivna polperioda b) negativna polperioda

(vir: <http://www.educa.fmf.uni-lj.si/>)



Slika 6: Transformator (230VAC/24VAC)

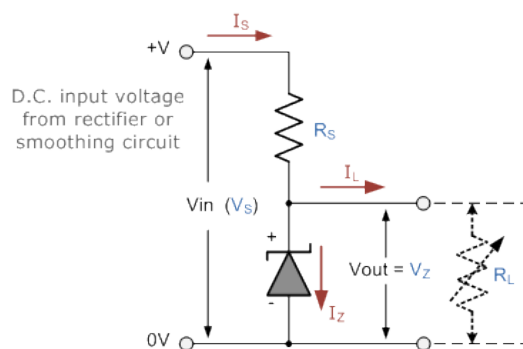


Slika 7: Uporabljen mostič



Slika 8: Elektrolitski kondenzator za glajenje napetosti (4700uF,50V)

Za napajanje krmilnega vezja sem uporabil 12- voltni regulator, sestavljen iz 12V Zener diode in $220\ \Omega$, 5 W upora. Ta dioda omeji napetost vhodno napetost 34VDC na 12VDC, ki se uporablja za delovanje vezja.

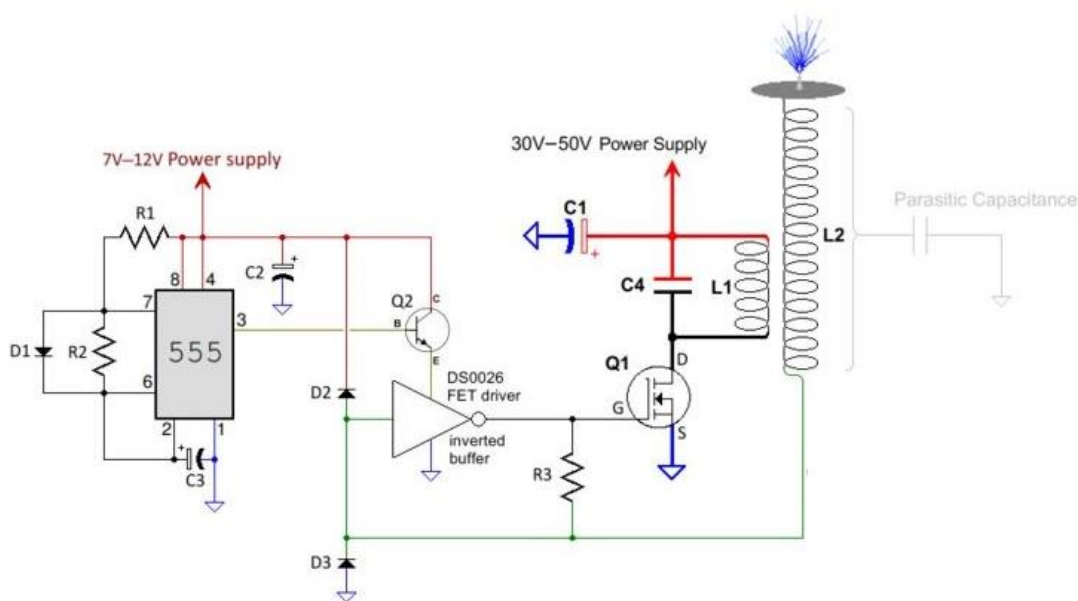


Slika 9: Regulator napetosti

(vir: <http://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode24.gif?x98918>)

4.3.2 Shema Teslovega transformatorja

Na spodnji sliki je prikazana električna shema Teslovega transformatorja. Posebnost tega načrta je v tem da uporablja povratno vezavo iz sekundarnega navitja na ustrezeni kontakt (pin2) integriranega vezja DS0026 s čimer transformatorju na nek način »vsilimo« resonančno frekvenco.



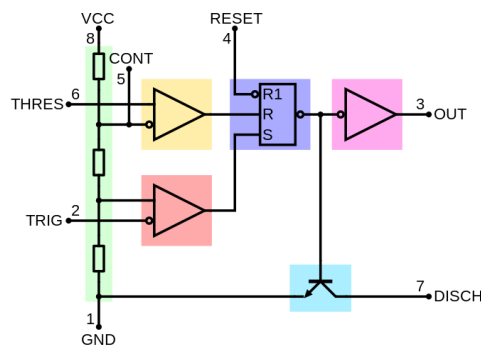
Slika 10: Shema SSTC-ja

(vir: <http://www.instructables.com/id/Easy-SSTC-Slayer-Exciter-On-Steroids/>)

4.3.3 Glavne komponente vezja

ČASOVNO VEZJE NE555

Časovno vezje 555 je čip, ki se uporablja v časovnih, pulzno generatorskih in oscilatorskih aplikacijah. Uporablja se lahko v vezjih za časovne zakasnitve, kot oscilator ali pa kot flip-flop element. Na spodnji sliki vidimo zgradbo integriranega vezja 555 in konfiguracijo pinov.



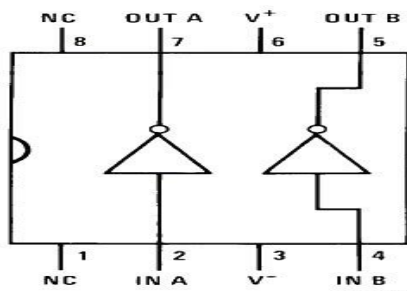
Slika 11: Zgradba časovnega vezja 555

(vir: https://en.wikipedia.org/wiki/555_timer_IC)

V mojem primeru se NE555 uporablja za ustvarjanje el. signalov, ki krmilijo čip DS0026. Frekvenco delovanja lahko spreminjamo, če spreminjamo vrednost kapacitivnosti kondenzatorja med priključkoma 1 in 2. Optimalna velikost kapacitivnosti kondenzatorjev je med 1 in 47 μF .

DS0026 MOSFET gonilnik

Čip DS0026 je v vezju uporabljen za krmiljenje GATE vhoda tranzistorja IRFP450. Nadomestili bi ga lahko tudi z dvema tranzistorjema.



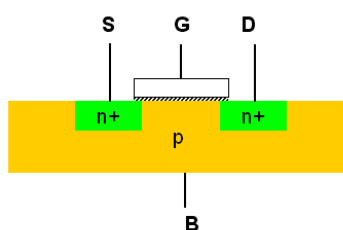
Slika 12: Čip DS0026

(vir: http://www.syntax.com.tw/upload/IC-DS0026_1.jpg)

MOSFET IRFP450

Osnovni gradnik digitalnih elektronskih vezij je tranzistor. Njegova vloga v digitalnih vezjih je največkrat vloga krmiljenega stikala: z enim signalom preklapljamo tranzistor (v mojem primeru s čipom DS0026), ki predstavlja stikalo za drug signal. Pred njim so vlogo stikala igrali mehanska stikala, električni rele in elektronka. Prednosti tranzistorja so majhne dimenzije, hitrost, tiho delovanje, majhna poraba in možnost integracije velikega števila tranzistorjev na majhnem prostoru.

Tranzistor je izdelan iz polprevodnih snovi (silicij, germanij) z dodatki (Ga, As, In in drugih snovi). V našem primeru uporabljamo MOS⁴ FET⁵ tranzistor



Slika 13: Zgradba MOSFET tranzistorja – prerez

(vir: http://colos.fri.uni-lj.si/eri/racunalnistvo/rac_sloji/tranzistor.html)

⁴ MOS (angl. Metal Oxide Semiconductor), oznaka za tanko plast kovinskega oksida v takšnem tranzistorju

⁵ FET (angl. Field Effect Transistor), tranzistor z učinkom polja

Zgradba tega tranzistorja je takšna, da sta na osnovni podlagi (substratu) priključena kontakta S (Source) in G (Gate). Med njima ne teče električni tok, saj substrat ni prevoden. Vrata G (Gate) so od substrata električno izolirana s tanko plastjo kovinskega oksida. Toda če na G pritismo električno napetost, se pod izolacijo ustvari prevodni "kanal" in tok med elektrodama S in D lahko steče. Tranzistor se torej obnaša kot stikalo, tranzistorska »vrata« pa služijo za krmiljenje tranzistorja.

4.4 Izdelava

4.4.1 Izdelava primarnega in sekundarnega navitja

Primarno navitje je sestavljeno iz 3 ovojev, električnega vodnika preseka $1,5 \text{ mm}^2$. Primarno navitje sem navil na plastično cev premera 7,5cm. Razmerje števila ovojev med primarnim in sekundarnim navitjem je 3:1000.

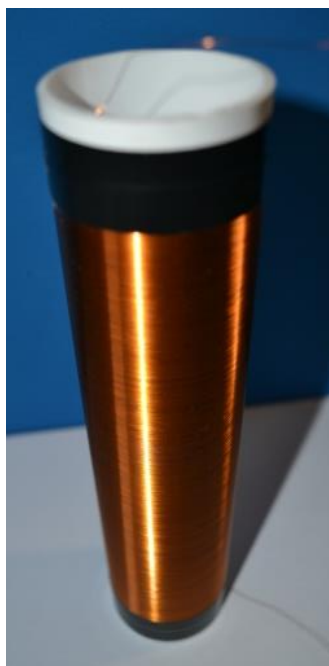


Slika 14: Primarno navitje

Izdelava sekundarnega navitja pa je bila nekoliko zahtevnejša, zaradi velikega števila ovojev tanke, lakirane žice vendar je bila z določeno mero iznajdljivosti tudi ta naloga izvedljiva. Žico je bilo potrebno lepo naviti, ovoj do ovoja, po celi dolžini tuljavnika. Za tuljavnik sem uporabil plastično cev premera 5cm, okoli katere sem navil navitje s 1000 ovojev 0,2mm debele lakirane, bakrene žice. Postopek izdelave je razviden iz slike 15.



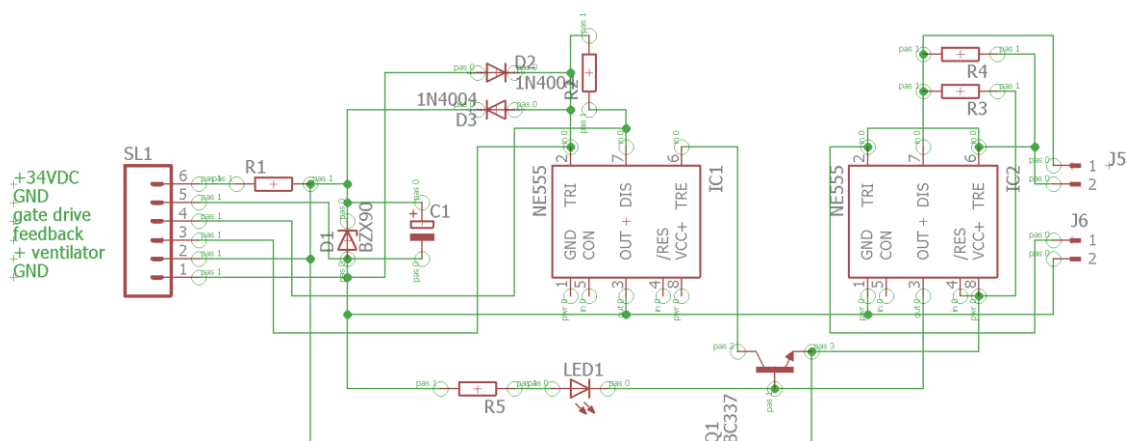
Slika 15: Sekundarno navitje med izdelavo



Slika 16: Končano sekundarno navitje

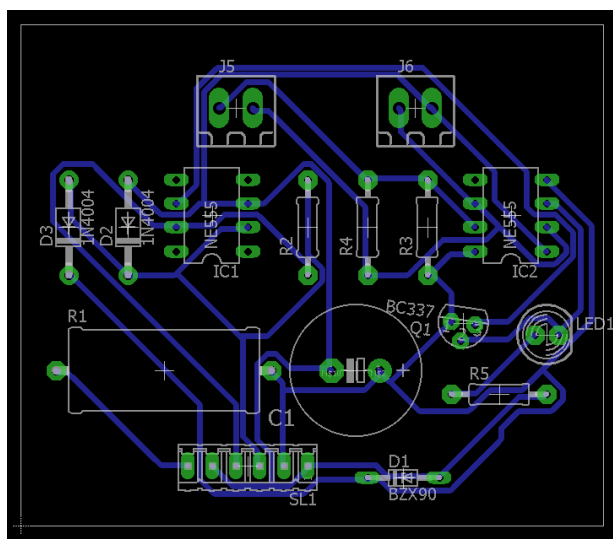
4.4.2 Izdelava vezja

Vezje za krmiljenje GATE vhoda MOSFET tranzistorja sem narisal v programu za načrtovanje elektronskih vezij Eagle. Na shemi lahko vidimo 12V regulator napetosti, IC1 predstavlja čip DS0026, IC2 predstavlja čip NE555, in ostale komponente. LED diodo LED1 sem v vezje vključil kot indikator napetosti na izhodu čipa NE555. Seznam elementov in celotno vezje pa lahko vidimo v poglavju »4.5 Končni izdelek«.



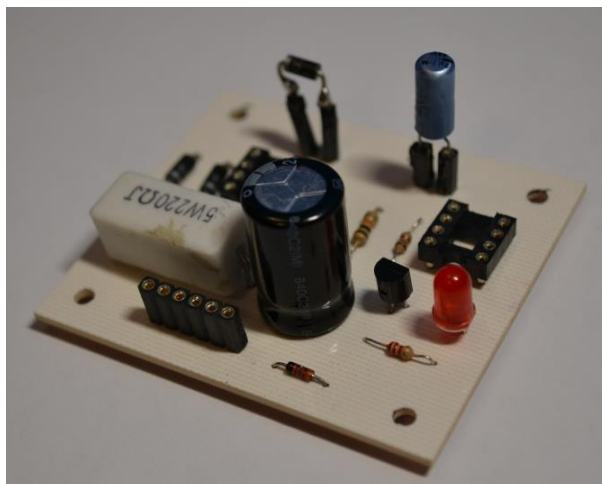
Slika 17: El. shema v programu Eagle

Pri sestavljanju vezja sem naletel na en manjši problem. V programu nisem našel čipa DS0026, zato sem bil primoran uporabiti 2 čipa NE555, saj sta narejena v enakem v enakem ohišju, prišlo pa je do spremembe edinole pri priključitvi pinov na integriranem vezju.



Slika 18: Razporeditev elementov na ploščico

Komponente sem razporedil na pertinaks ploščico dimenzije 65x55mm. Na vogalih ploščice sem določil prazen prostor za vijake, s katerimi sem preko distančnikov ploščico pritrdil na leseno podlago.



Slika 19: Končano tiskano vezje

4.4.3 Izdelava ogrodja in pritrditev elementov

Vse komponente Teslovega transformatorja sem pritrdil na 2 leseni ploščici dimenzij 200 x 200mm. Odločil sem se, da bodo na spodnji plošči nameščeni: transformator, MOSFET z hladilnikom, elektronsko vezje in ostale elektronske komponente ter povezave. Na zgornji plošči pa bosta pritrjena samo primarno in sekundarno navitje.



Slika 20: Plošči z izvrtinami za pritrditev komponent (pred barvanjem)

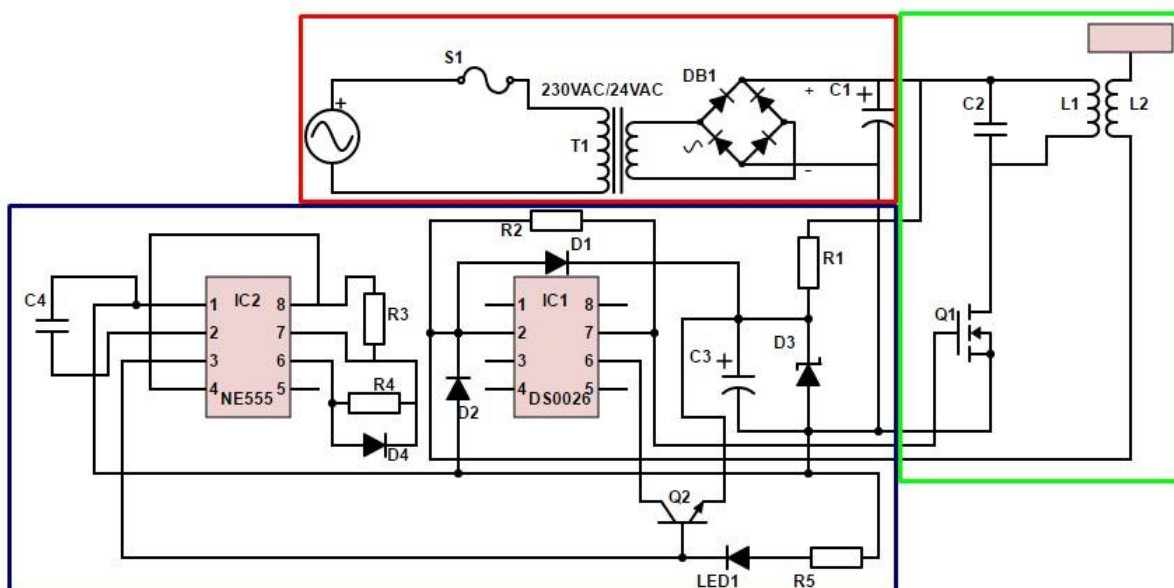


Slika 21: Sestavljen Teslov transformator (brez povezav)

4.5 Končni izdelek



Slika 22: Končni izdelek



Slika 23: Končno vezje

Tabela 1: Seznam vseh uporabljenih elementov

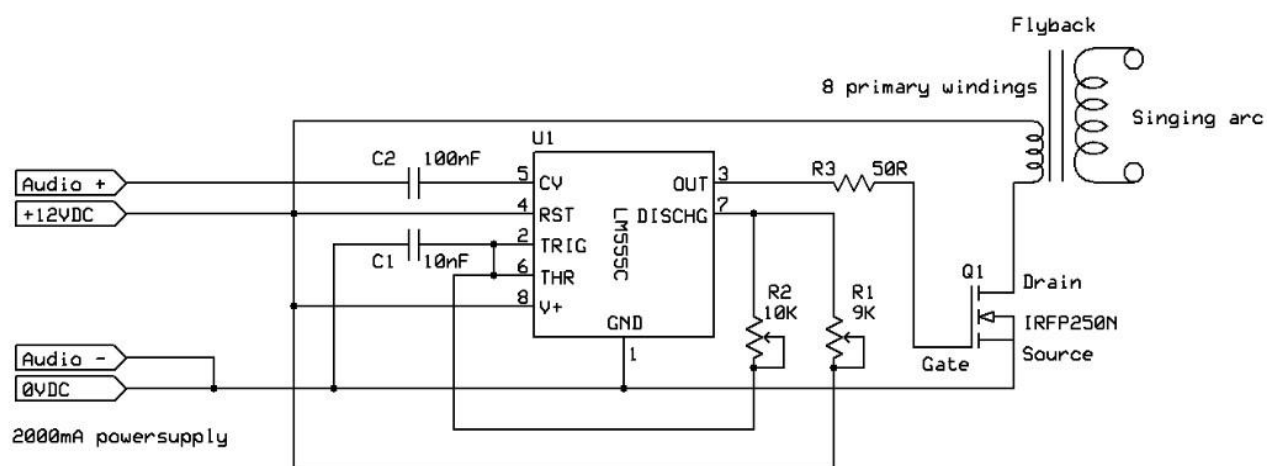
OZNAKA	VRSTA ELEMENTA	VREDNOST
S1	VAROVALKA	3A
T1	TRANSFORMATOR	230VAC/24VAC
DB1	DIODNI MOSTIČ	30A
C1	ELEKTROLITSKI KONDENZATOR	4800 μ F, 50V
C2	KONDENZATOR	340pF
C3	ELEKTROLITSKI KONDENZATOR	1000 μ F
C4	KONDENZATOR	1-47 μ F
L1	PRIMARNO NAVITJE	3 obrati
L2	SEKUNDARNO NAVITJE	1000 obratov
Q1	MOSFET TRANZISTOR	IRFP450
Q2	NPN TRANZISTOR	BC337
R1	UPOR	220 Ω , 5W
R2	UPOR	10k Ω
R3	UPOR	1k Ω
R4	UPOR	10k Ω
R5	UPOR	1k Ω
D1	DIODA	1N4007
D2	DIODA	1N4007
D3	ZENER DIODA	12V
D4	DIODA	1N4007
LED1	LED DIODA	/



Slika 24: Iskra

5. MODIFIKACIJA ZA POJOČ TESLOV TRANSFORMATOR

Po uspešni izdelavi Teslovega transformatorja sem se odločil raziskovati naprej in sicer tako, da ga modificiram za povezavo z glasbenim predvajalnikom in ga uporabim za reprodukcijo zvoka kot plazma zvočnik. Za modifikacijo mojega Teslovega transformatorja je potrebno izdelati elektronsko vezje, ki je predstavljeno na sliki 25.



Slika 25: Shema možne modifikacije

(vir: <http://kaizerpowerelectronics.dk/high-voltage/555-audio-modulated-flyback/>)

Na shemi je uporabljen čip LM555C, v moji izvedbi pa bo uporabljen čip NE555. Za napajanje čipa NE555 potrebujem 12- voltni regulator napetosti, saj je na mojem primarnem navitju napajalna napetost 34V. Med izhodom čipa (pin 3) in tranzistorja IRFP450 bom povezal MOSFET gonilnik DS0026. Kondenzatorje in upore bom zamenjal z s predlaganimi vrednostmi na shemi. Na pin 5 pa bom povezal audio konektor.

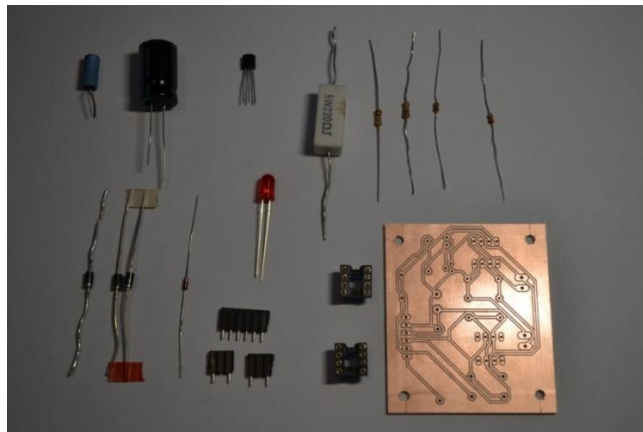
6. DRUŽBENA ODGOVORNOST

Ta naloga ponuja boljše razumevanje delovanja Teslovega transformatorja in vzpodbuja raziskovalno dejavnost na področju brezžičnega prenosa električne energije. Naloga je uporabna kot priročnik za izdelavo, saj so podrobno opisane uporabljene komponente, način izdelave in delovanje. Ta Teslov transformator bi lahko nadgradili tudi v Pojoč Teslov transformator, kar je tudi moj namen.

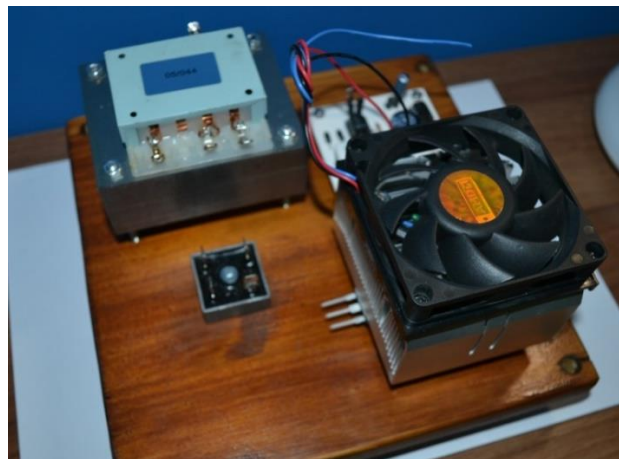
Uporabiti se ga da predvsem v izobraževalne namene, pri pouku elektrotehnike ali fizike za spoznavanje lastnosti električnega in magnetnega polja. Lahko se uporabi tudi za napajanje razsvetljave, kar je bil prvotni namen izumitelja Nikole Tesle, vendar na tem področju uporaba Teslovega transformatorja še ni praktično zaživila zaradi omejitev pri prenosu el. moči na daljavo po brezžični poti.

Upam, da bo ta raziskovalna naloga v pomoč vsakomur, ki se bo odločil za izdelavo lastnega Teslovega transformatorja iz elektronskih elementov.

7. PRILOGE



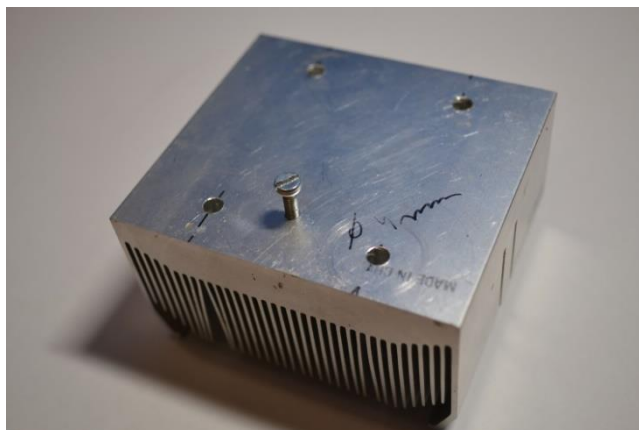
Slika 26: Tiskano vezje z vsemi elementi



Slika 27: Sestavljanje Teslovega transformatorja



Slika 28: Vijaki za pritrditev tiskanega vezja



Slika 29: Uporabljen hladilnik za MOSFET tranzistor

8. VIRI

1. vir: <http://www.tb3.com/tesla/theory.html>
2. vir: <http://www.instructables.com/id/Easy-SSTC-Slayer-Exciter-On-Steroids/>
3. vir: http://www.educa.fmf.uni-lj.si/izodel/sola/2001/di/bezjak/apo_sipos/5.htm
4. vir: http://colos.fri.uni-lj.si/eri/racunalnistvo/rac_sloji/tranzistor.html
5. vir: http://deepfriedneon.com/tesla_guide.html
6. vir: https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_coil
- 7.vir: <http://kaizerpowerelectronics.dk/high-voltage/555-audio-modulated-flyback/>
- 8.vir: <http://everycircuit.com/circuit/6649051431829504/555-timer-musical-tesla-coil>