

Teslova tuljava – njena izdelava in potencial za učenje

Avtor:

Sebastjan Tkavc, 4. g

Mentor:

Silvestar Ovčar, prof.

Področje: Fizika

Mestna občina Celje, Mladi za Celje

Celje, 2017

Kazalo

Zahvala	4
Povzetek	5
1 Uvod	6
1.1 Cilji	6
1.2 Razlaga uporabljenih izrazov	6
1.3 Hipoteze.....	7
1.4 Raziskovalne metode.....	7
2 Primerjava klasične Teslove tuljave in Teslove tuljave s polprevodniškim vezjem	8
3 Izdelava Teslove tuljave s polprevodniški vezjem.....	10
3.1 Navijanje sekundarnega navitja	10
3.2 Izdelava podstavka in navijanje primarnega navitja	11
3.3 Izdelava zgornje obremenitve (toroida)	12
3.4 Izdelava polprevodniškega vezja	13
4 Polprevodniško vezje	14
4.1 Delovanje.....	14
4.1.1 Dovajanje napetosti	14
4.1.2 Postopek delovanja	15
4.2 Umerjanje	16
4.2.1 Merjenje in računanje resonančne frekvence sekundarnega navitja.....	16
4.3 Problemi pri testiranju.....	17
5 Možnosti uporabe v šolstvu	18
5.1 Prikazovanje signala s pomočjo osciloskopa	18
5.2 Demonstracijski poskusi	19
5.3 Kompatibilnost	20
5.4 Možni problemi	20
6 Potrditev hipotez.....	21
7 Zaključek.....	22
8 Viri	23
9 Priloge.....	24

Kazalo slik

SLIKA 1: DIAGRAM KLASIČNE TESLOVE TULJAVE	8
SLIKA 2: SHEMA POLPREVODNIŠKEGA VEZJA BREZ VHODA ZA ZVOK.....	9
SLIKA 3: SEKUNDARNO NAVITJE PREMAZANO Z EPOXY-EM.....	10
SLIKA 4: PRIMARNO NAVITJE SPELJANO SKOZI ZMODELIRAN PODSTAVEK.....	11
SLIKA 5: TOROID Z NAMEŠČENO IZHODNO TOČKO	12
SLIKA 6: POLPREVODNIŠKO VEZJE RAZDELJENO NA PODENOTE	13
SLIKA 7: SHEMA POLPREVODNIŠKEGA VEZJA Z AVDIO VHODOM	14
SLIKA 8: VEZJE NA PROTOTIPNI PLOŠČI.....	14
SLIKA 9: VEZJE SLAYER EXCITER.....	16
SLIKA 10: MOTNJE NA PULZNI MODULACIJI ZARADI SLABE OZEMLJITVE	17
SLIKA 11: PRIKAZ PULZNE MODULACIJE NA OSCIOSKOPU	18
SLIKA 12: TULJAVA PRIKLOPLJENA NA VEZJE, S PRISLONJENO NEONSKO ŽARNICO	19

Zahvala

Zahvaljujem se mentorju Silvestru Ovčarju, prof. za pomoč in podporo pri izdelavi izdelka in izvedbi raziskovalne naloge. Zahvaljujem se tudi gospodu ravnatelju dr. Antonu Šepetavcu za omogočen dostop do vse opreme, ki sem jo potreboval za izdelavo raziskovalne naloge.

Prav tako se zahvaljujem vsem ostalim, ki so mi omogočili izvedbo raziskovalne naloge.

Povzetek

Namen raziskovalne naloge je bila izdelava varnejše Teslove tuljave, ki bi omogočila varno uporabo v šolskih prostorih in ne bi zavzela veliko prostora. Vseeno pa lahko z njo prikažemo več fizikalnih zanimivosti, ki jih sicer s klasično Teslovo tuljavo ne moremo.

V okviru raziskovanja sem izdelal Teslovo tuljavo in vezje, ki jo poganja. Izdelava je vsebovala štiri segmente, izdelavo sekundarnega navitja, izdelavo primarnega navitja in podstavka, izdelavo zgornje obremenitve in izdelava vezja. Ker sem vezje prevzel iz že narejenih načrtov sem dodal tudi svoje izboljšave, da je vezje bolj primerno za uporabo v šolstvu.

Med postopkom izdelave sem opazoval in beležil možnosti uporabe te Teslove tuljave v šolstvu. Omenil sem tudi še vse obstoječe probleme, tako pri izdelavi kot pri uporabi.

Med izdelavo in uporabo pa sem upošteval, da je namen tega izdelka uporaba v šolskem okolju, preko demonstracijskih poskusov, z že obstoječo šolsko opremo.

1 Uvod

Genij, čudak, čarovnik, človekoljub – to so nekateri od nazivov Nikola Tesle. Srb, ki je bil rojen na Hrvaškem in je po izboru Encyclopedia Britannica uvrščen med 10 najzanimivejših ljudi, v zgodovini človeštva. Med njegove izume spadajo električni stol, avtomobilske svečke, radijski nadzor na daljavo in tudi brezžični prenos električne energije. Eden izmed njegovih izumov je tudi Teslova tuljava. (vir št. 1)

S Teslovo tuljavo smo se že vsi vsaj enkrat srečali, najbrž v kakšnem muzeju Nikola Tesle. Moj cilj je poskusiti to redkost prenesti v izobraževalno okolje na šoli.

Ideja je nastala ob branju določenega članka (spletni vir: <http://www.electroboom.com/?p=521>, ogledano: 12.6.2015). Članek govori o preprosti implementaciji nove tehnologije s starimi Teslovimi načrti.

1.1 Cilji

Cilji te naloge so izdelava celotne Teslove tuljave in vezja, ki omogoča njeno delovanje, prilagajanje in izboljšanje vezja ter tuljave za njun namen uporabe in predstavitev možnih načinov demonstracijske uporabe v šolskem okolju.

1.2 Razlaga uporabljenih izrazov

Slayer exciter – ime vezja uporabljenega za določitev resonančne frekvence sekundarnega navitja

Blender – »Blender je odprto programsko orodje za grafično 3D modeliranje,...« (citirano iz: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Blender>)

Epoxy – epoksidna smola namenjena lepljenju

VSUP – šolski malo napetostni izvir (v našem primeru)

Schmitt trigger – ime vezja, uporabljenega za generiranje žagastega električnega signala v končnem vezju

PWM – »Pulzna modulacija je namenjena prenosu analognega signala, kot nosilni signal pa služi pravokotni signal.« (citirano iz: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Modulacija>)

PVC – Tip plastike, polivinil klorid, iz katerega izdelujejo plastične cevi (vir št. 7)

Mica ploščice – dobro toplotno prevoden mineral, hkrati električni izolator, oblikovan v tanke ploščice za uporabo v elektroniki in elektronskih komponentah. (vir št. 8)

1.3 Hipoteze

Hipoteza 1: Predvidevam, da bo izdelava Teslove tuljave s pomočjo polprevodniških komponent varnejša od klasične.

Hipoteza 2: Predvidevam, da se bo v tem izdelku pojavilo veliko možnosti demonstracijske uporabe v šolskem okolju.

Hipoteza 3: Predvidevam, da bi bilo možno ta izdelek uporabljati v šolske namene z že obstoječo opremo.

Hipoteza 4: Predvidevam, da je možno s tem izdelkom prikazati, da za predvajanja zvoka ne potrebujemo membrane.

1.4 Raziskovalne metode

Raziskovalno delo sem začel s pregledovanjem standardnih mer za izdelavo Teslove tuljave. Obiskal sem mnogo spletnih strani in forumov. Večina podatkov na teh straneh je bila le delna. Nato pa sem zasledil spletno stran www.onetesla.com, kjer sem našel vse potrebne izračune, mere in opise materialov potrebnih za izdelavo navitji in podstavka.

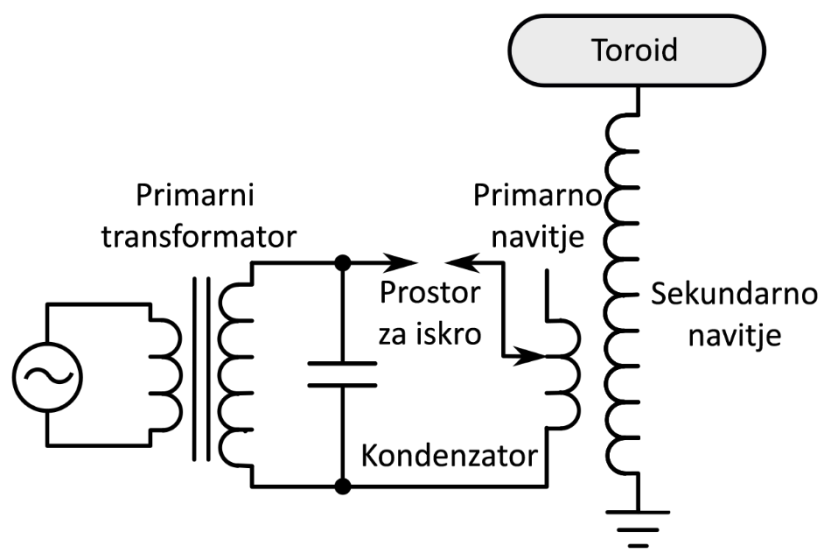
Ko sem izdelal fizično tuljavo sem se poglobil v delovanje vezja. Preučil sem shemo v spletnem članku Music, Magic and Mayhem with Tesla Coil (<http://www.electroboom.com/?p=521>), prebral vso potrebno dokumentacijo proizvajalcev čipov in se lotil sestavljanja vezja.

Med sestavljanjem sem, s pomočjo osciloskopa, sprotno beležil možne dodatne demonstracijske vrednosti (prikazovanje različnih signalov in frekvenc).

Končni izdelek sem testiral in prilagodil optimalnemu delovanju, vključil sem tudi lastne prilagoditve. Opazoval in beležil sem tudi možnosti demonstracije fizikalnih pojavov.

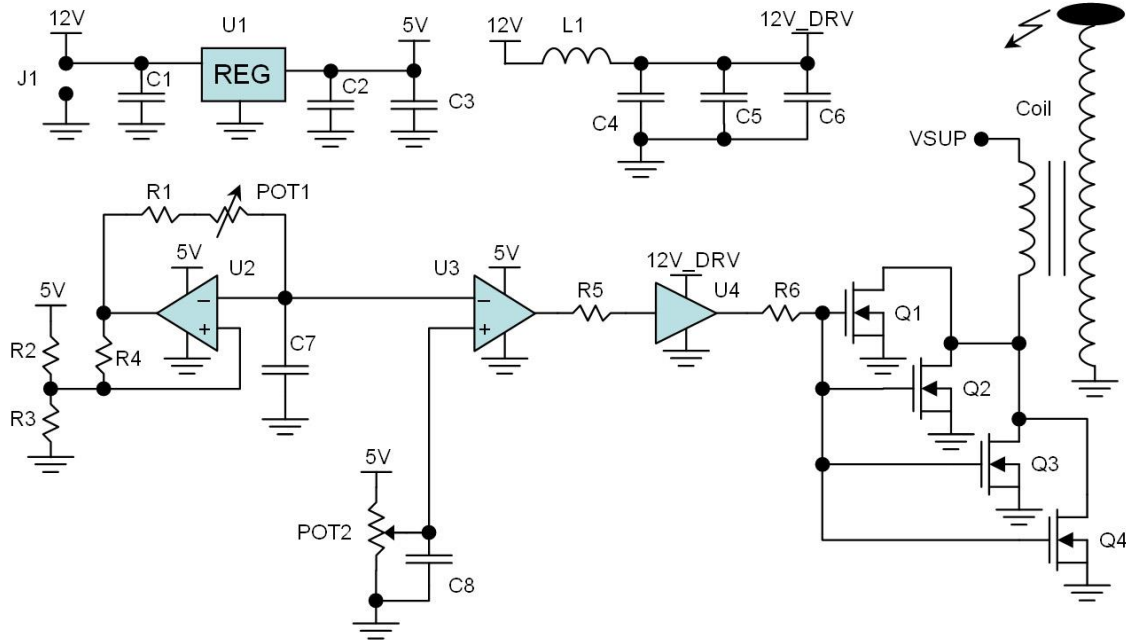
2 Primerjava klasične Teslove tuljave in Teslove tuljave s polprevodniškim vezjem

Klasična Teslova tuljava, kot si jo je zamislil Nikola Tesla, uporablja primarni transformator, ki dvigne napetost iz mrežne (v našem primeru 230 voltov) na več tisoč voltov. Naslednji sestavni del je kondenzator, za njim pa sledi prostor za iskro. Ta napetost ki jo ustvari primarni transformator napolni kondenzator. Ko je napetost kondenzatorja dovolj velika zrak med kontaktoma, prostora za iskro, postane prevoden in sprosti vso napetost iz kondenzatorja na primarno navitje tuljave. To oscilira dokler se energija ne porabi. Ta postopek se ponovi vsak interval izmenične napetosti. Da pa iz toroida na vrhu švigajo iskre, pa morata biti kondenzator in prostor za iskro usklajena z resonančno frekvenco tuljave.



Slika 1: Diagram klasične Teslove tuljave

Polprevodniško vezje za Teslovo tuljavo pa za vnosno napetost namesto izmenične uporablja enosmerno. Nalogo kondenzatorja nadomesti čip (dvojni primerjalnik), ki ustvari pulzno modulacijo. Gonilnik MOSFET, pretvori to pulzno modulacijo in jo prenese na tranzistorje MOSFET, ki vnesejo napetost na primarno navitje. Prednosti tega pristopa so večja učinkovitost, manjše napetosti in tišje delovanje.



Slika 2: Shema polprevodniškega vezja brez vhoda za zvok

3 Izdelava Teslove tuljave s polprevodniški vezjem

3.1 Navijanje sekundarnega navitja

Za sekundarno navitje sem izbral PVC tulec premera 35 mm ter dolžine 350 mm. PVC sem izbral kot material zaradi solidne temperaturna in ultravijolične odpornosti. Nanj sem navil izolirano žico za navijanje transformatorjev debeline 0,12 mm. Sekundarnih ovitij je približno 3500. Ko so bila ovitja dokončana sem celotno navitje premazal z epoxy-em (LT 3430), ki preprečuje, da bi se tuljava odvila istočasno pa doda dodaten sloj izolacije.



Slika 3: Sekundarno navitje premazano z epoxy-em

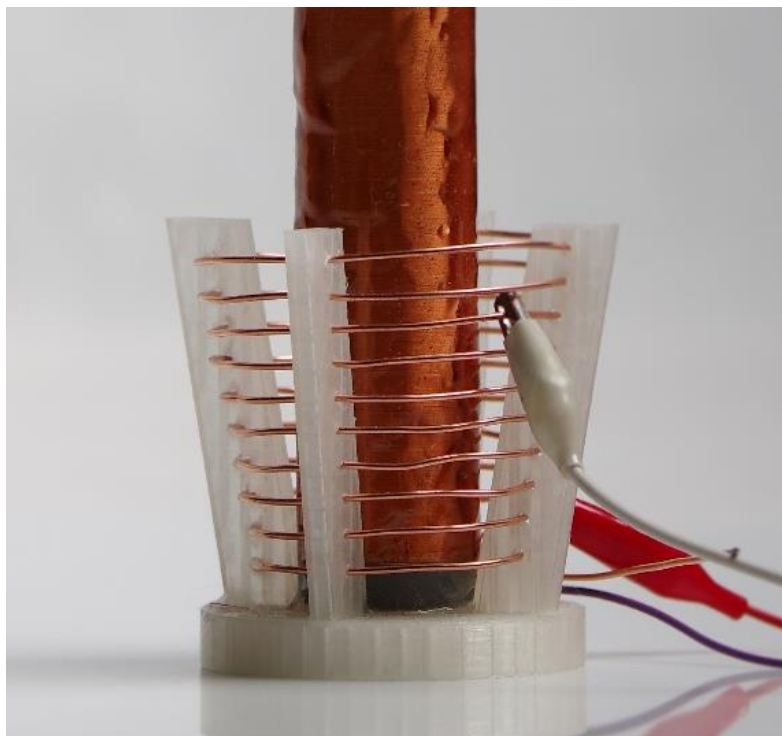
3.2 Izdelava podstavka in navijanje primarnega navitja

Pri primarnem navitju sem se moral odločiti med različnimi oblikami. Na voljo sem imel Arhimedovo ploščato primarno navitje, konično ali inverzno konično navitje. Izbral sem inverzno konično navitje saj je tako videz tuljave bolj enoten njen odtis pa manjši. Če bi uporabljal večje tokove bi bilo bolje, da bi izbral Arhimedovo ploščato navitje, zaradi manjše možnosti preskoka iskre na sekundarno navitje.

Podstavek in držalo navitja sem zmodeliral sam v programu Blender in ga tridimenzionalno natisnil na šolskem 3D tiskalniku.

Primarno navitje sem napeljal skozi vodilo. Za to sem uporabil neizolirano bakreno žico premera 1,2 mm. Za takšen premer žice sem se odločil zato, ker se s to izvedbo Teslove tuljave izognemo velikim napetostim in tokovom, za katere bi potrebovali izolirano žico veliko večjega premera.

Ko je bilo primarno navitje končano sem na podstavek, z istim epoxy-em, prilepil še sekundarni del.

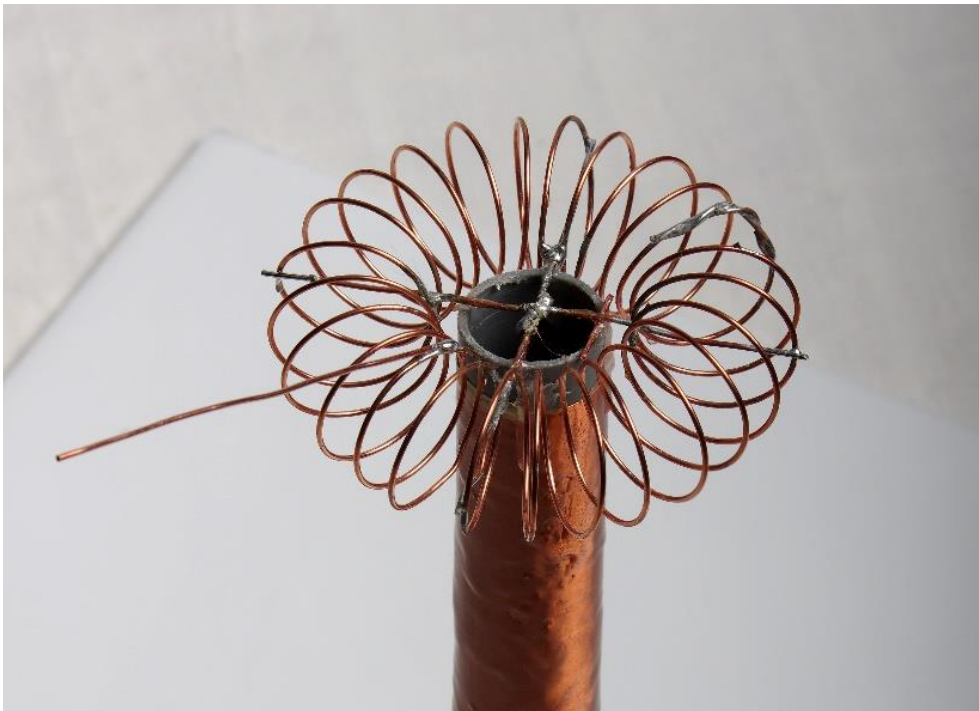


Slika 4: Primarno navitje speljano skozi zmodeliran podstavek

3.3 Izdelava zgornje obremenitve (toroida)

Ker je resonančna frekvenca sekundarnega navitja odvisna od induktivnosti in kapacitete, samo sekundarno navitje ni dovolj. Navitje žice ponudi zadostno induktivnost, za zadostno kapaciteto pa potrebujemo zgornjo obremenitev. Ta je lahko ukrivljen disk, toroid, sfera ali pa cilindar.

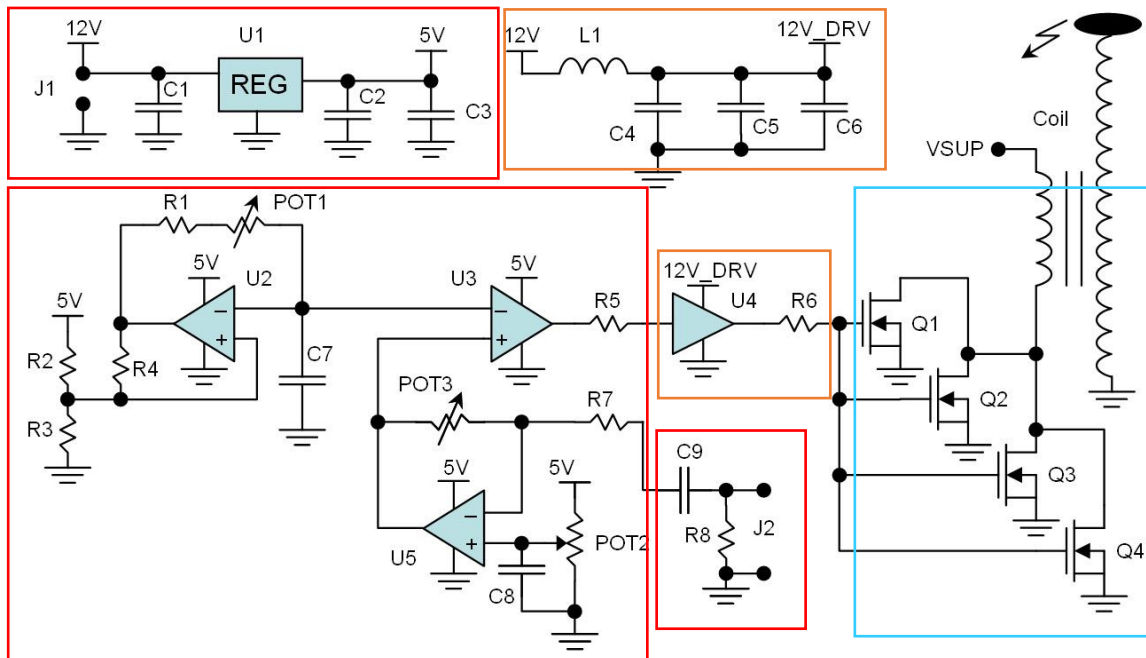
Toroid je bil za mojo aplikacijo najprimernejši, saj ima največje razmerje površine žice z odtisom, močne krivine pri katerih je širjenje in koncentracija električnega polja intenzivnejša in preprosto dodajanje točkovnega izhoda, ki je potreben za ustvarjanje iskre pri tako nizkih napetostih.



Slika 5: Toroid z nameščeno izhodno točko

3.4 Izdelava polprevodniške vezja

Polprevodniško vezje se imenuje tako ker za delovanje uporablja polprevodniške komponente, kot so tranzistorji MOSFET in razni čipi. Vezje sem sestavil po spodnji shemi:



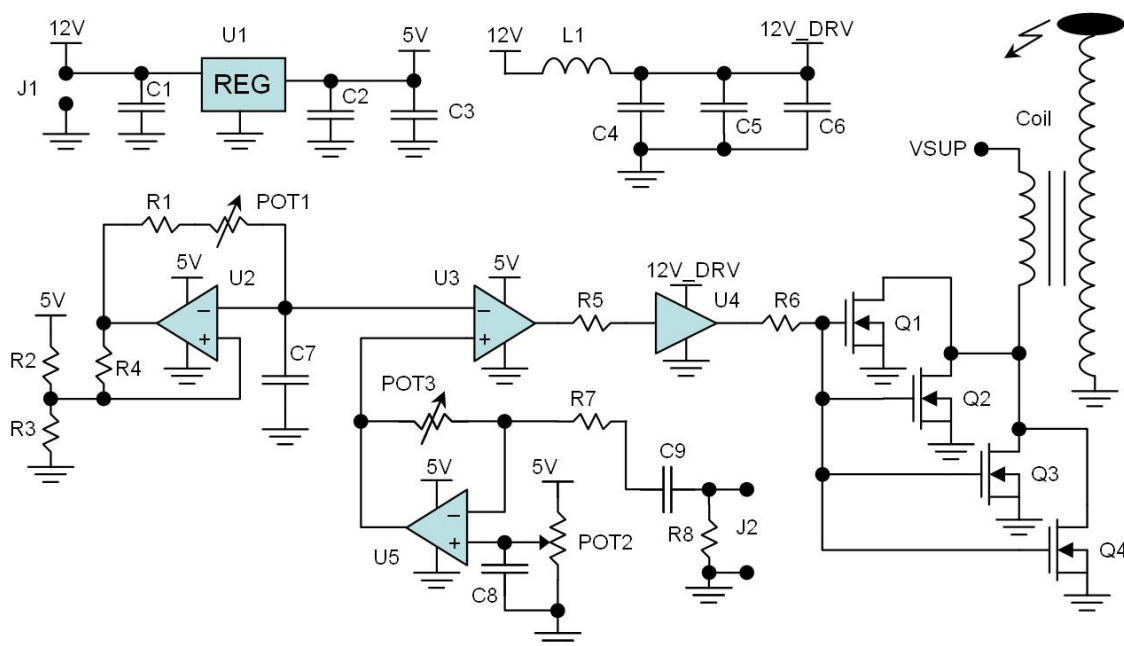
Slika 6: Polprevodniško vezje razdeljeno na podenote

Glede na napetost lahko vezje razdelimo na tri podenote:

- 5V del (vezje za generiranje frekvence in sprejem avdio signala) – **Rdeča obroba**
- 12V del (gonilnik MOSFET) – **Oranžna obroba**
- 0-60V del (tranzistorji MOSFET) – **Modra obroba**

4 Polprevodniško vezje

4.1 Delovanje



Slika 7: Shema polprevodniškega vezja z avdio vhodom

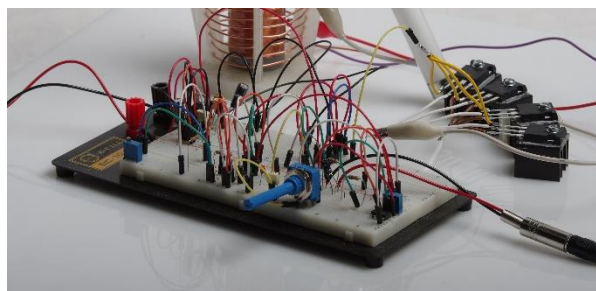
4.1.1 Dovajanje napetosti

Celotno vezje ima dva vira napetosti. Prvi vir je stenski adapter, ki pretvori izmenično mrežno napetost (230 voltov) v enosmerno napetost (12 voltov). Drugi vir je šolski malo napetostni izvor (enosmerna napetost, od 0 do 32 voltov pri 2 amperih).

Z 12 voltov izmenične napetosti, z uporabo regulatorja napetosti MC78L05BP-AP, pretvorimo napetost na konstantnih 5 voltov. Ta se uporablja za Schmitt trigger oscilatorno vezje (U2), avdio vezje (U5) in drugi del primerjalnika (U3).

12 voltov je potrebnih za delovanje gonilnika MOSFET (MIC4452YN – U4), ki pretvori PWM signal v frekvenco, ki jo dovajamo na vrata tranzistorjev MOSFET.

ŠMI pa je v celoti namenjen dovajanju napetosti primarnemu navitju in tranzistorjem MOSFET (Q1-Q4).



Slika 8: Vezje na prototipni plošči

Ozemljitev vezja je tudi izjemno pomembna, saj brez nje ne moremo generirati stabilnega PWM signala. Speljal sem jo v zvezdasti obliki iz skupne točke adapterja in ŠMI-ja.

4.1.2 Postopek delovanja

Prevod opisa delovanja vezja (prevedeno in povzeto po: <http://www.electroboom.com/?p=575>):

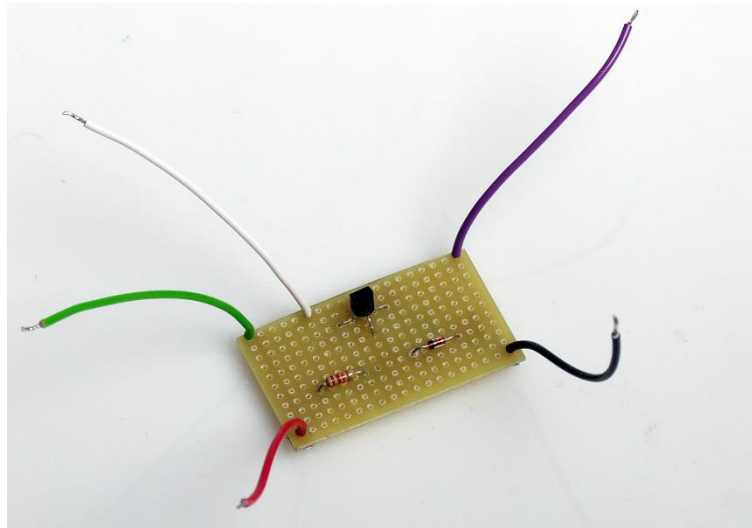
- Avdio signal pride skozi vhod (J1), na inverzni vhod avdio čipa (U5), napetost regulirana s POT2 pa je dovedena v njegov ne inverzen vhod. Na izhodu dobimo enosmerno napetost, določeno z vrednostjo POT2, z dodanim valovljenjem avdio signala, katerega jakost se nadzira z POT3. Ta signal je doveden v drugi ne inverzni vhod MCP6562-E/SN (U3).
- Prvi del MCP6562-E/SN (U2) se uporablja za Schmitt trigger oscilatorno vezje, ki lahko generira frekvence od 500kHz do 1,5MHz. Te se spreminjajo na podlagi POT1. Prvi izhod MCP6562-E/SN (U2) je žagasta frekvenca, ki je vnesena v drugi inverzni vhod MCP6562-E/SN (U3).
- Drugi del MCP6562-E/SN (U3) primerja žagasto frekvenco z variabilno napetostjo, generirano v avdio vezju. Na drugem izhodu se generira PWM signal. Na njegov delovni cikel vpliva voltaža avdio vezja (višja kot je voltaža, večji je delovni cikel).
- PWM signal je doveden v vhod MIC4452YN MOSFET gonilnika (U4), ki generira uporabno frekvenco za MOSFET tranzistorje STC2450KEC (Q1-Q4). Ti pa postanejo prevodni, ko je na njihova vrata dovedena dovoljšna napetost. Tako se na primarnem navitju inducira magnetno polje
- Ta energija se na sekundarnem navitju poveča v razmerju 10:3500 in rezultat so iskre na izhodni točki toroida.

4.2 Umerjanje

4.2.1 Merjenje in računanje resonančne frekvence sekundarnega navitja

Formula za izračun resonančne frekvence je $\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$. V tej formuli ν pomeni frekvenca, L induktivnost in C kapaciteta. Ker je te induktivnost in kapaciteto skoraj nemogoče izmeriti na sekundarnem navitju, takoj po priklopu merilne naprave se vrednosti popačijo, sem potreboval drugačen način.

Ta problem sem rešil z izdelavo preprostega vezja Slayer exciter. To vezje je sestavljeno iz tranzistorja (2N2222), diode (1N4148) in upora (22 kOhm).



Slika 9: Vezje Slayer exciter

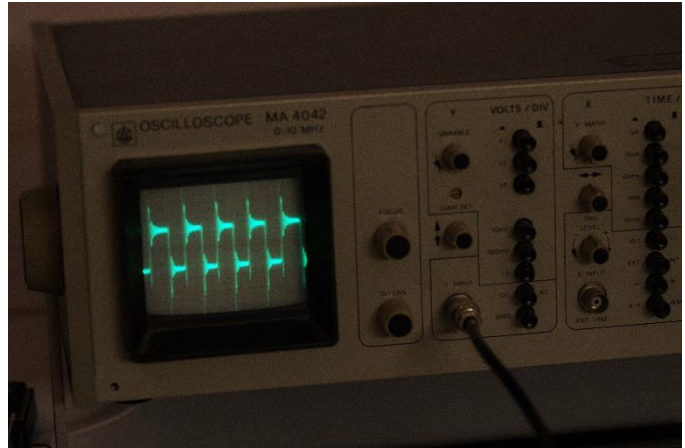
To vezje je zelo zanimivo, ker se frekvenca delovanja sama prilagodi na optimalno vrednost. To pomeni, da sem moral nanj priključiti samo 9V baterijo in mojo tuljavo. Z osciloskopom sem izmeril frekvenco na bazi tranzistorja. Ta frekvenca (približno 1,25 MHz) je ključna saj uporabljeno polprevodniško vezje nima sposobnosti samodejnega prilagajanja frekvence.

Polprevodniško vezje sem nato nastavil na izmerjeno frekvenco. To sem naredil s spreminjanjem vrednosti POT1.

4.3 Problemi pri testiranju

Pri testiranju vezja sem se srečal z določenimi problemi:

- Ozemljitev znotraj vezja se je izkazala za ključno pri delovanju, kar je pomenilo, da sem moral ponovno napeljati vse ozemljitvene povezave. Tudi dobra ozemljitev mrežne napetosti je ključna saj vezje pri slabi ozemljitvi težko generira stabilni signal.
- Kmalu sem opazil, da v vezje dovajam močne motnje s prikopom tranzistorjev MOSFET. Po pregledu sheme tranzistorjev sem opazil, da so vrata tranzistorja povezana z kovinskim ohišjem in posledično s hladilnikom. Ko se izoliral hladilnik od tranzistorja, s pomočjo mica ploščic, so motnje izginile.
- Premalo močan ŠMI zaradi katerega so iskre šibkejše, šumi glasnejši in glasba skozi iskre tišja.
- Pregrevanje tranzistorjev MOSFET. Ta problem sem rešil z izdelavo večjega in bolj učinkovitega hladilnika v sklopu izdelave izboljšanega vezja.
- Slabe povezave na preizkusni plošči in močne magnetne motnje. Vezje bi bilo potrebno sestaviti na plošči za vezja in ga zaščititi pred sevanjem. To je že v teku saj izdelujem še eno vezje, ki vsebuje veliko dodatnih izboljšav (primernejši čipi, aktivno hlajenje, manjši odtis, razbremenilna dioda).



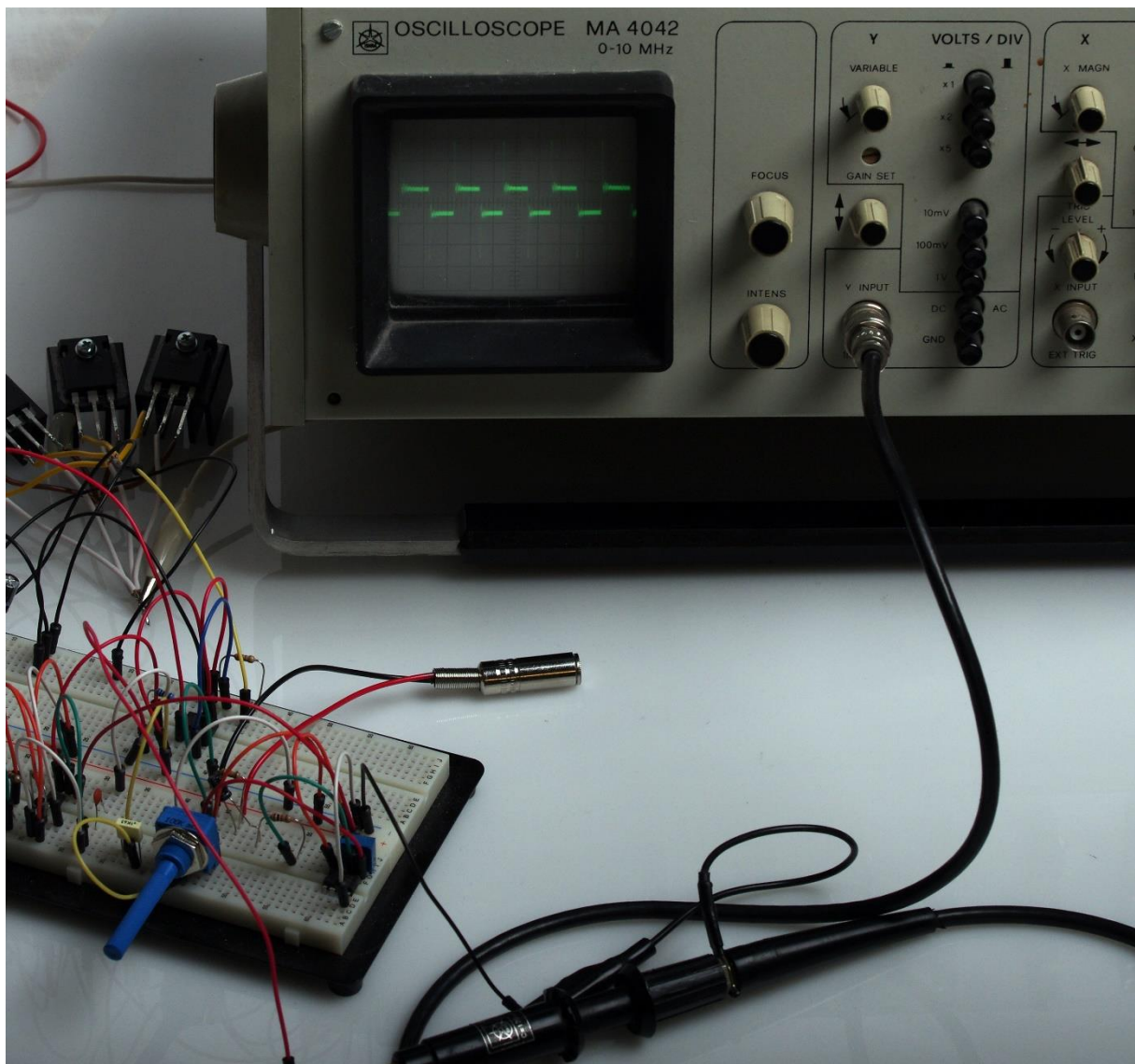
Slika 10: Motnje na pulzni modulaciji zaradi slabe ozemljitve

5 Možnosti uporabe v šolstvu

5.1 Prikazovanje signala s pomočjo osciloskopa

Pred priklopom ŠMI-ja je možno na vezju opazovati več vrst električnih signalov. Prikažemo lahko žagasti električni signal iz Schmitt trigger oscilatornega vezja, avdio signal, enosmerno napetost popačeno z avdio signalom, pulzno modulacijo z dodanim avdio signalom na vrhu in nihanje napetosti (frekvenco) tranzistorjev.

Ko tuljava deluje pa lahko z osciloskopom opazimo še električne motnje, saj se na zaslonu osciloskopa izrisuje sinusoida.



Slika 11: Prikaz pulzne modulacije na osciloskopu

5.2 Demonstracijski poskusi

Ko je vezje umerjeno in napetost dodana, lahko s pomočjo neonske žarnice opazujemo brezžičen prenos električne energije, saj žarnica zasveti.

Ko je napetost dovolj velika se na točkovnem izhodu ustvari iskra, takrat postane zrak prevoden in generirati se začne plazma in ozon. Tukaj lahko pokažemo, da če se iskre dotaknemo z dovoljšno maso nas elektrika ne bo stresla, saj je frekvenca tako visoka, da tok potuje po površini.

Če v vezje dovedemo avdio signal lahko poslušamo zvok preko iskre. Nižje frekvence zvoka lahko opazujemo tudi preko svetlobe (utripanje žarnice).

Opazujemo pa lahko tudi širjenje magnetnih polj. Če k tuljavi približamo napravo ki ima kapacitiven zaslon na dotik lahko vidimo, da magnetna poja onemogočijo delovanje zaslona na dotik. Če pa je polje dovolj močno začne zaslon sam vnašati klike.



Slika 12: Tuljava priklopljena na vezje, s prislonjeno neonsko žarnico

5.3 Kompatibilnost

Ta Teslova tuljava je kompatibilna z vso standardno šolsko opremo. Za dovod napetosti se lahko uporabljajo standardni dovolj močni ŠMI-ji, ki so prisotni na večini šol.

Predstavlja lahko nov potencial za uporabo starejše ali manj natančne opreme, kot so starejši osciloskopi saj bi z njimi prikazovali samo oblike električnih signalov in približna očitavanja.

Uporabili bi se lahko tudi različni generatorji frekvenc, na vezje se lahko tudi priklopi vsak računalnik, ki ima analogni avdio izhod za predvajanje glasbe.

5.4 Možni problemi

Čeprav tuljava ne potrebuje velike napetosti ustvarja močno magnetno sevanje z zelo visoko frekvenco. Zato ljudje s srčnimi spodbujevalniki ne smejo biti v istem prostoru, kot delujoča tuljava.

Delovanje tuljave predstavlja tudi motnje elektronskih naprav ter LCD zaslonov na dotik.

Magnetno polje Teslove tuljave naelektri bližnje predmete. Če bližnji predmeti niso ozemljeni in se jih dotaknemo pri delujoči tuljavi, obstaja možnost elektrostaticne razelektritve preko nas.

Problem pa bi lahko predstavljalo tudi težje upravljanje z vezjem, saj je za optimalno delovanje potrebno konstanto prilagajanje frekvence in delovnega cikla.

6 Potrditev hipotez

Hipoteza 1: Predvidevam, da bo izdelava Teslove tuljave s pomočjo polprevodniških komponent varnejša od klasične.

Prvo hipotezo lahko potrdim, saj klasična Teslova tuljava deluje na nam smrtno nevarni mrežni napetosti (230 voltov), ki se skozi postopek delovanja samo ojača, polprevodniško vezje pa deluje na nizki nenevarni enosmerni napetosti (5 in 12 voltov). Enosmerna napetost (od 0 do 32 voltov), ki je dovedena na primarno navitje, pa tudi ni nenevarna za človeka.

Čeprav je ta način varnejši od klasičnega, pa še vedno obstaja nevarnost za ljudi s srčnimi spodbujevalniki.

Hipoteza 2: Predvidevam, da se bo v tem izdelku pojavilo veliko možnosti demonstracijske uporabe v šolskem okolju.

Drugo hipotezo lahko brez dvoma potrdim. Možnosti demonstracijske uporabe so se pojavile že pri izdelovanju vezja, pri katerem so bile razvidne različne oblike električnih signalov.

Z njo lahko prikazujemo tudi brezžični prenos električne energije, širjenje električnih polj, opazovanje nižjih zvočnih frekvenc preko svetlobe in poslušanje glasbe preko iskre.

Hipoteza 3: Predvidevam, da bi bilo možno ta izdelek uporabljati v šolske namene z že obstoječo opremo.

Tretja hipoteza drži, saj sem vezje izdelal s pomočjo že obstoječe, varne šolske opreme, ga z njo umeril in testiral.

Hipoteza 4: Predvidevam, da je možno s tem izdelkom prikazati, da za predvajanja zvoka ne potrebujemo membrane.

Tudi zadnjo hipotezo lahko potrdim, saj nam to vezje omogoča predvajanje zvoka prek iskre.

7 Zaključek

V tej raziskovalni nalogi sem ugotovil, da je možno narediti Teslovo tuljavo, ki jo lahko uporabljamo v šolske namene, saj za njeno napajanje zadostuje nenevarna nizka enosmerna napetost. Takšna Teslova tuljava je primerna za uporabo v šolstvu, saj lahko z njo prikažemo več kot s klasično Teslovo tuljavo. Prednost te tuljave je torej v tem, da na račun večje varnosti ne izgubi na šolski demonstracijski vrednosti.


Izdelek bi se dalo še izboljšati, saj je njegovo delovanje zelo odvisno od vplivov iz okolice. Samo vezje se namreč ne more prilagajati, zato je nastavitev in posledično uporaba pri demonstraciji zahtevnejša.

8 Viri

- 1) <https://www.rtv slo.si/znanost-in-tehnologija/tesla-moz-ki-je-izumil-20-stoletje/304065> (povzeto: 5. 3. 2017)
- 2) https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f4/Tesla_coil_circuit.svg (povzeto: 5. 3. 2017, Slika 1)
- 3) <http://www.electroboom.com/wp-content/uploads/2015/05/Basic-Schematic.jpg> (ogledano: 5. 3. 2017, Slika 2)
- 4) <http://www.electroboom.com/wp-content/uploads/2015/05/SCH-with-Amp-1024x576.jpg> (ogledano: 7. 3. 2017, Slika 6, 7)
- 5) www.onetesla.com (povzeto: 7. 3. 2017)
- 6) www.electroboom.com (povzeto: 7. 3. 2017)
- 7) https://sl.wikipedia.org/wiki/Polivinil_klorid (ogledano: 8. 4. 2017)
- 8) https://en.wikipedia.org/wiki/Mica#Sheet_mica (ogledano: 8. 4. 2017)
- 9) Lastne fotografije (Slika 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12)

9 Priloge

- Tehnični list epoxy-ja LT 3430.

 Research, Development & Engineering Tallaght Business Park, Dublin, Ireland	Technical Data Sheet Hysol® 3430 July 2003
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------

PRODUCT DESCRIPTION
 Loctite Hysol 3430 is a two component epoxy adhesive which cures rapidly at room temperature after mixing. It is a general purpose adhesive which develops high strength on a wide range of substrates.

TYPICAL APPLICATIONS
 The gap filling properties make this adhesive system suitable for rough or poorly fitting surfaces made from metal, ceramic, rigid plastics or wood.

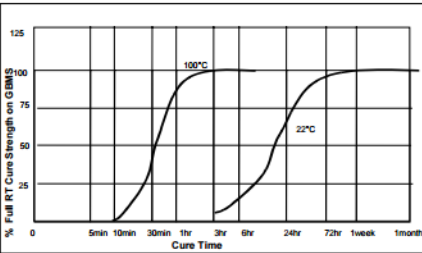
PROPERTIES OF UNCURED MATERIAL

Resin	Typical Value
Chemical Type	Epoxy
Appearance	Ultra clear
Specific Gravity @ 25°C	1.2
Viscosity @ 25°C	
Brookfield RVT, Spindle 5 @ 2.5rpm, mPas	20,000 to 30,000
Flash Point, ASTM D93/DIN 51758, °C	>150

Hardener	Typical Value
Chemical Type	Epoxy
Appearance	Ultra clear
Specific Gravity @ 25°C	1.2
Viscosity @ 25°C	
Brookfield RVT, Spindle 7 @ 5rpm, mPas	20,000 to 30,000
Flash Point, ASTM D93/DIN 51758, °C	>100

Mixed Adhesive	Typical Value
Appearance	Ultra clear
Mix Ratio by Volume (Resin/Hardener)	1:1
Mix Ratio by Weight (Resin/Hardener)	100:100
Maximum gap fill (mm)	3
Working Life of mixed adhesive @ 22°C, 100g mix, minutes	4-7
Fixture Time (light handling, 0.1N/mm ²) @ 22°C, minutes	12

TYPICAL CURING PERFORMANCE
Cure Speed vs. time/temperature
 Hysol 3430 develops high strength at room temperature within 2 to 4 hours. The assembled parts will be fixtured for light handling (0.1N/mm²) after 12 minutes at @ 22°C in a 0.05mm gap. Elevated temperatures may be used to accelerate the cure. The following graph indicates development of shear strength on a steel lap shear with 0.05mm gap as a function of time and temperature, tested according to ASTM D-1002/EN 1465.



TYPICAL PROPERTIES OF CURED MATERIAL
 (1.2mm thick samples cured for 7 days @ 22°C)


Physical Properties	Typical Value
Coefficient of Thermal Conductivity ASTM C177, W.m ⁻¹ K ⁻¹	0.28
Youngs Modulus, ASTM D882, N/mm ²	2,500
Dielectric strength, ASTM D149, kV/mm	25

PERFORMANCE OF CURED MATERIAL
 (cured 7days @ 22°C and tested @ 22°C)

Shear Strength, ASTM D1002/EN 1465 (0.05mm bond gap unless otherwise stated)	Typical Value (N/mm ²)
Steel, Grit Blasted Mild Steel (GBMS)	22
Stainless Steel	11.5
Aluminium, IPA wiped	7.5
Polycarbonate	6.2
ABS	3
PVC	4.8
GRP (Polyester Resin Matrix)	3
Softwood (Deal)	7.6
Hardwood (Teak)	9.1

180° Rigid Peel Strength, ASTM D1876 steel, GBMS, N/mm	0.85
180° Rigid Peel Strength, ASTM D1876 Aluminium GB, N/mm	1.5
IZOD Impact Resistance ISO 9653/ASTM D950-98, GBMS, J/m ²	5.2

NOT FOR PRODUCT SPECIFICATIONS.
 THE TECHNICAL DATA CONTAINED HEREIN ARE INTENDED AS REFERENCE ONLY.
 PLEASE CONTACT LOCTITE CORPORATION QUALITY DEPARTMENT FOR ASSISTANCE AND RECOMMENDATIONS ON SPECIFICATIONS FOR THIS PRODUCT.
 ROCKY HILL, CT FAX: +1 (860)-571-5473 DUBLIN, IRELAND FAX: +353(1)-451-9959

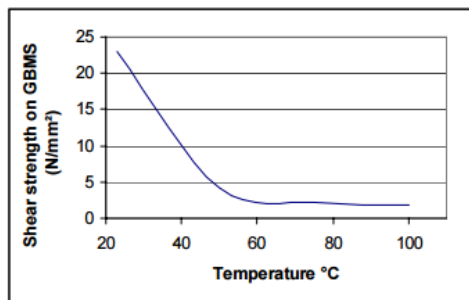
A  Company

TDS Hysol 3430, July 2003

Test Procedure :	ASTM D1002/ EN 1465
Substrate:	Steel, grit blasted mild steel (GBMS)
Bond line gap:	0.05mm
Cure procedure:	7days @ 22°C.

Hot Strength

Tested at temperature.

**Heat Ageing**

Stored in air at temperature indicated and tested at 22°C.

Samples cured at 22°C for 7days.

Storage Temperature	% Initial Strength retained after			
	100 hr	500 hr	1000 hr	3000 hr
50°C	-	116	124	141
80°C	134	135	138	148
100°C	-	110	120	156
120°C	-	153	135	123

Chemical/Solvent Resistance

Immersed in the conditions indicated and tested at 22°C.

Solvent	Temp.	% Initial Strength retained after			
		100 hr	500 hr	1000 hr	3000 hr
Water	60°C	73	24	24	23
Water	22°C				
98% Relative Humidity	40°C	125	82	73	44

UV Ageing24hrs continuous exposure to 2.5mW/cm² of UV light
Soda Glass to Soda Glass
Soda Glass to Stainless Steel

NA

Adhesive has changed from being 'Ultra clear' to a 'yellow translucent' (NOTE: more noticeable at the fillet)

Dishwasher Ageing20 continuous cycles
Soda Glass to Soda Glass
Soda Glass to Stainless Steel

65°C

ALL Bond structures intact however, water ingress detected at ALL bond-lines

GENERAL INFORMATION

This product is not recommended for use in pure oxygen and/or oxygen rich systems and should not be selected as a sealant for chlorine or other strong oxidising materials.

For safe handling information on this product, consult the Material Safety Data Sheet, (MSDS).

Where aqueous washing systems are used to clean the surfaces before bonding, it is important to check for compatibility of the washing solution with the adhesive. In some cases these aqueous washes can affect the cure and performance of the adhesive.

Directions for use

- For best performance surfaces for bonding should be clean, dry and free of grease. For high strength structural bonds, special surface treatments can increase the bond strength and durability.
- To use, resin and hardener must be blended. Product can be applied directly from dual cartridges by dispensing through the mixer head supplied. Discard the first 3-5 cm of bead dispensed. Using bulk containers, mix thoroughly by weight or volume in the proportions specified in Properties of Uncured Material section. For hand mixing, weigh or measure out the desired amount of resin and hardener and mix thoroughly. Mix approximately 15 seconds after uniform colour is obtained.
- Do not mix quantities greater than 20g as excessive heat build-up can occur. Mixing smaller quantities will minimise the heat build-up.**
- Apply the adhesive as quickly as possible after mixing to one surface to be joined. For maximum bond strength apply adhesive evenly to both surfaces. Parts should be assembled immediately after mixed adhesive has been applied.
- Working life of the mixed adhesive is 4-7 minutes at 22°C. Higher temperature and larger quantities will shorten this working time.
- Keep the assembled parts from moving during cure. The joint should be allowed to develop full strength before subjecting to any service loads.
- Excess uncured adhesive can be wiped away with organic solvent (e.g. Acetone).
- After use and before adhesive hardens mixing and dispensing equipment should be cleaned with hot soapy water.

Storage

Product shall be ideally stored in a cool, dry location in unopened containers at a temperature between 8°C to 21°C (46°F to 70°F) unless otherwise labelled. Optimal storage is at the lower half of this temperature range. To prevent contamination of unused product, do not return any material to its original container. For further specific shelf life information, contact your local Technical Service Centre.

Data Ranges

The data contained herein may be reported as a typical value and/or range. Values are based on actual test data and are verified on a periodic basis.

Note

The data contained herein are furnished for information only and are believed to be reliable. We cannot assume responsibility for the results obtained by others over whose methods we have no control. It is the user's responsibility to determine suitability for the user's purpose of any production methods mentioned herein and to adopt such precautions as may be advisable for the protection of property and of persons against any hazards that may be involved in the handling and use thereof. In light of the foregoing, **Loctite Corporation specifically disclaims all warranties expressed or implied, including warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, arising from sale or use of Loctite Corporation's products. Loctite Corporation specifically disclaims any liability for consequential or incidental damages of any kind, including lost profits.** The discussion herein of various processes or compositions is not to be interpreted as representation that they are free from domination of patents owned by others or as a license under any Loctite Corporation patents that may cover such processes or compositions. We recommend that each prospective user test his proposed application before repetitive use, using this data as a guide. This product may be covered by one or more United States or foreign patents or patent applications.

**Bulk Numbers: Part A - 0209048
Part B - 0209052**

Loctite and Hysol are Registered Trademarks of Henkel Loctite Corporation, USA