

Naslov naloge:

# BREZŽIČNI PRENOS ELEKTRIČNE ENERGIJE

Področje:

ELEKTROTEHNIKA

Vrsta naloge:

RAZISKOVALNA NALOGA

Leto izdelave naloge: 2021

# KAZALO

Povzetek .....	3
Uvod .....	4
Teoretični del.....	4
Ekperimentalni del .....	5
Prvi poskusi .....	5
ZVS in STO vezje .....	5
Delovanje STO vezja.....	6
Meritev induktivnosti .....	7
Rezultati .....	7
Razprava - ugotovitve .....	8
Zaključek .....	8
Literatura .....	9

PRILOGE: Naloga ne vsebuje prilog.

## Povzetek

Brezžični prenos energije se pri polnjenju mobilnih telefonov že pogosto uporablja. Veliko se razmišlja tudi o brezžičnem polnjenju električnih avtomobilov, zato je to področje izredno zanimivo. Raziskovalna naloga je želela pokazati povezavo med dolžino prenosa, frekvenco, močjo in izkoristkom. Zaradi razmer dela na daljavo se je nekoliko oddaljila od prvotnega načrta in raziskala principe dveh vezij (STO in ZVS) za prenos na daljavo. Kljub temu pa so v raziskavi podane tudi osnovne značilnosti možnosti prenosa, kar je bil njen osnovni cilj.

Ključne besede: ZVS, STO, zračni transformator

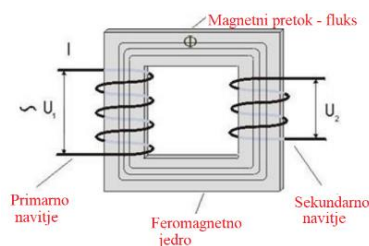
## Uvod

Tema naloge, ki jo je predlagal mentor, mi je bila takoj zanimiva, ker sem nekaj podobnega pred tem poskušal narediti tudi sam. Brezžični prenos energije ni samo ideja, o kateri je razmišljal že Nikola Tesla, temveč že predstavlja del vsakodnevno uporabljene tehnologije. Vedno bolj so popularni predvsem brezžični polnilci telefonov, veliko pa se razmišlja tudi o možnosti brezžičnega polnjenja električnih avtomobilov.

Prvotni načrt raziskovalne naloge je bil raziskati medsebojni vpliv frekvence, razdalje in izkoristka. Ker pa sem po sili razmer moral nalogo praktično v celoti opraviti sam doma, z mentorjem »na Zoomu« in preskromnimi tehničnimi možnostmi, sem se usmeril predvsem v izdelavo vezja za prenos električne energije na daljavo.

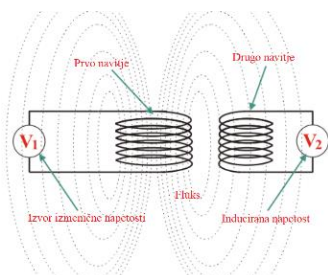
## Teoretični del

Brezžični prenos električne energije ali prenos energije »po zraku« poteka po principu medsebojne indukcije dveh navitij, podobno kot v transformatorju. V transformatorju primarno navitje ustvari magnetno polje, ki požene magnetni pretok – fluks v feromagnetnem jedru, v sekundarnem navitju pa sprememba polja, ki jo povzroča fluks, inducira napetost.



Slika 1: Princip delovanja transformatorja s feromagnetnim jedrom

Če transformatorju odvzamemo jedro, transformator v principu še vedno deluje. Magnetne silnice niso več koncentrirane v jedru, tako da bi lahko rekli, da je »stresanje« magnetnega polja popolno. Pri nižjih frekvencah je magnetna upornost »zračnega« transformatorja veliko večja. Zato pri brezžičnem prenosu energije potrebujemo višje frekvence.



Slika 2: Princip delovanja zračnega transformatorja

Z odpravo jedra transformator izgubi tudi svojo dobro lastnost – velik izkoristek. Kot pri feromagnetnem transformatorju lahko tudi pri zračnem transformatorju induktivnost navitja

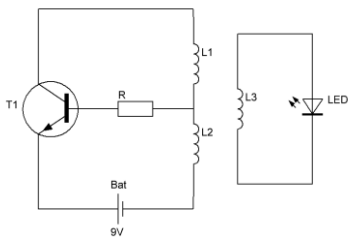
kompenziramo. Z delovanjem LC-vezja v področju resonance lahko tudi zračnemu transformatorju znatno izboljšamo izkoristek.

## Eksperimentalni del

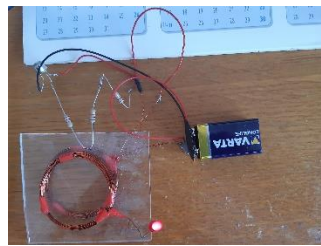
### Prvi poskusi

Prvi poskus sem naredil tako, da sem navil primarno navitje (70 ovojev) in ga priključil na sekundarni del transformatorja napajalnika (12 V). Prenos energije na sekundarno navitje z LED diodo je deloval, a ne prav dolgo, saj se je napajalnik pregrel. Poskus mi je jasno pokazal, da pri 50 Hz prenos ne bo učinkovit.

Po vzoru »mojstrov z YouTuba« sem nato poskusil še prenos energije z enostavnim vezjem z enim tranzistorjem.



Slika 3: Enostavno vezje z enim tranzistorjem



Slika 4: Delovanje enostavnega vezja

Enostavno vezje z enim tranzistorjem je delovalo precej bolj stabilno, a prenos ni deloval na dosti večji razdalji kot pri prvem poskusu. Pri poskusu meritev sem ugotovil, da so le-te z osnovnim digitalnim univerzalnim inštrumentom zelo vprašljive, saj frekvence merjenih veličin presegajo deklarirane vrednosti inštrumenta. Zato sem začel razmišljati o izdelavi boljšega vezja za brezžični prenos energije.

### ZVS in STO vezje

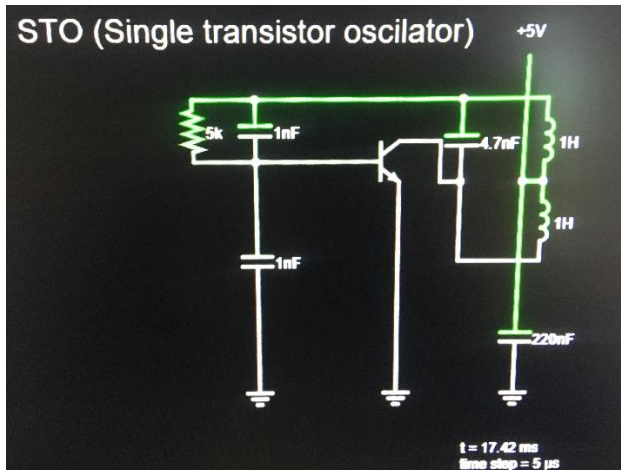
Prvo vezje, ki sem ga izdelal, se imenuje ZVS (Zero Volt Switching) vezje. ZVS deluje na osnovi resonance LC spoja, ki ga poganjata dva MOSFET-a (kanal N). Vezje oscilira tako, da ko LC vezje preide točko vklopa, začne MOSFET napajati eno stran vezja, ko pa pride do druge točke (oz. ko začne napetost padati), prične drugi MOSFET napajati drugo stran vezja.

Pri tem poskusu nisem imel veliko sreče. Po težavah pri nabavi elementov sem z malo nepazljivosti napačno priključil MOSFET tranzistorja in ju uničil.

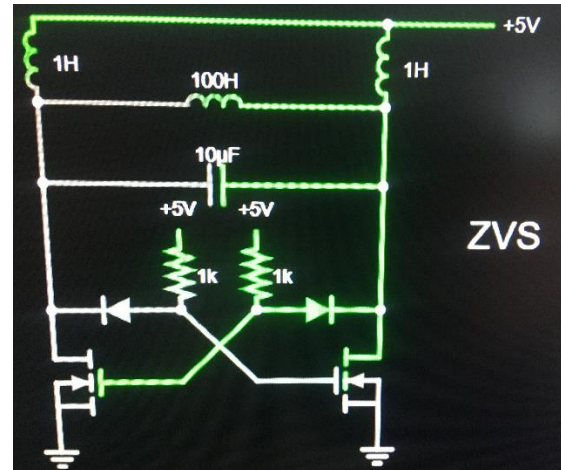
Ko sem pregledoval internet, sem naletel na drugačno izvedbo vezja. To vezje je uporabljalo le en tranzistor in »center tapped coil«. Vezje sem sestavil in je delovalo. Približno na razdalji 30 cm je napajalo eno LED diodo. Ko sem iskal način, kako bi povečal razdaljo, sem dvignil vhodno napetost z 9 V na 12 V. Ker je bil prvi rezultat zelo dober, sem napetost dvignil na 30 V, kar pa je moj tranzistor pokončalo.

Po poskusih s simulacijskim programom Falstad sem ponovno poskusil z ZVS vezavo. Naročil sem močnejše MOSFET tranzistorje in ostali potrebni material.

Simulacija je pokazala, da vezje potrebuje okoli 2–3 A in 12–24 V na vhodu, delovalo pa naj bi na veliko večjih razdaljah, saj deluje na višji frekvenci (70 kHz) in ima večjo moč (tok in napetost) na navitju. Seveda tako velike razdalje in izkoristek zahtevajo tudi boljše napajanje. Slabost tega vezja je, da se ne zažene samo. To pomeni, da prvih nekaj sekund samo vezje porablja tok brez koristnega efekta. Če imamo dovolj močan napajalnik, to ni težava. Pri slabših napajalnikih pa moramo uporabiti »mehki zagon« (Max 3 A).

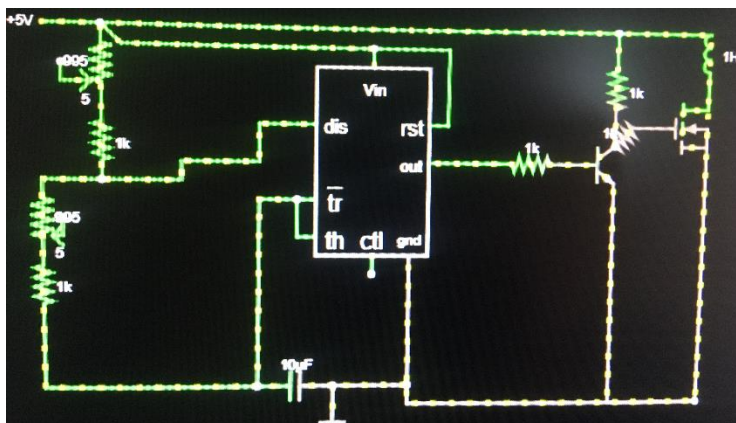


Slika 5: Prikaz simulacije STO vezja



Slika 6: Prikaz simulacije ZVS vezja

Pri poskusu z ZVS vezjem sem opazil, da se je vklopil enakomerno in poškodoval G kontakt MOSFET-ov. Malo sem raziskal in ugotovil, da je ZVS vezje treba zagnati s časovnikom (555) in MOSFET Driverjem.



Slika 7: ZVS vezje s časovno zakasnitvijo

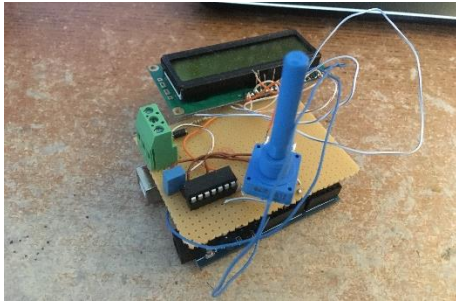
## Delovanje STO vezja

V vezju STO (Single Transistor Oscilator) uporabimo le en tranzistor ali MOSFET (NPN ali n-channel). Navijemo navitje, ki ima na sredini tako imenovani »tap«. Na sredino navitja pripeljemo napajalno napetost in povežemo s kondenzatorjem. Nato na navitje vzporedno vežemo kondenzator, ki določa našo frekvenco. Izbral sem 4,7 nF, saj ta pogojuje frekvenco okoli 15 kHz, pri toku prenosa do 1 A. Kondenzator povežemo še na kolektor tranzistorja, emitor pa na negativni pol napajalnika. Na bazo tranzistorja pripeljemo signal z druge strani 4,7 nF kondenzatorja, ki pa gre skozi vzporedno vezavo 1 nF kondenzatorja za filtracijo in 5 kΩ upora. Upor in kondenzator 1 nF povežemo na negativni pol napajalnika.

Vezje deluje na principu LC vezave, kar pomeni, da imamo skupaj vezana kondenzator in tuljavo, ki si izmenjujeta naboj. Tranzistor nenehno vklaplja kondenzator, ki se polni in tako ohranja oscilacijo.

### Meritev induktivnosti

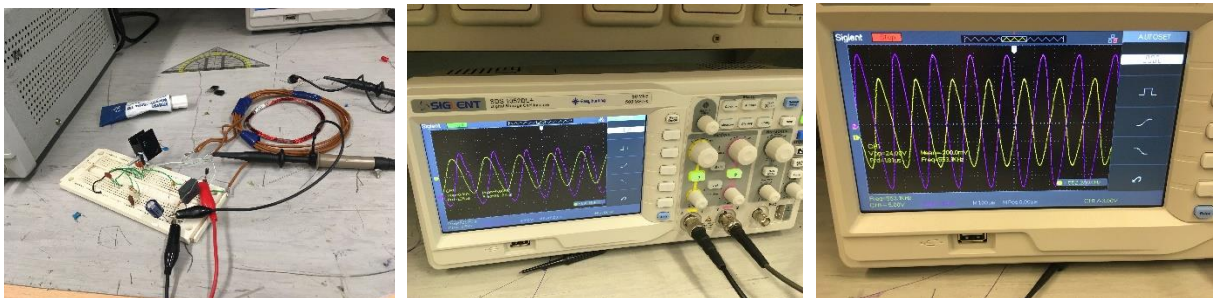
Med izdelovanjem vezja sem naletel na težavo, in sicer kako naviti pravo navitje. Problem je bila prava induktivnost. Ker izračun ni prišel v poštev, sem si izdelal merilnik. Pomagal sem si z Arduino UNO in čipom LM339. Z meritvijo sem lahko navil tuljavi pravih vrednosti.



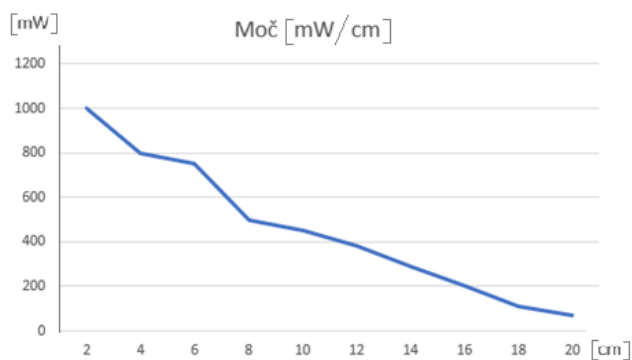
Slika 8: Arduino UNO kot merilnik induktivnosti

### Rezultati

Po pregledu in meritvah sem ugotovil, da lahko na nekaj centimetrov (5–6 cm) prenašamo dovolj energije, da napajamo nekaj LED diod. Moč prenesene energije sem meril na upor. Meritev toka in napetosti sem izvedel z osciloskopom.



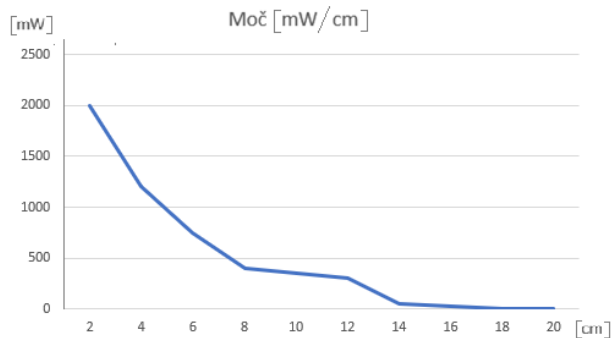
Slika 9, 10 in 11: Meritve napetosti in toka



Slika 12: Graf zmanjševanja moči z razdaljo pri frekvenci 0,6–1 MHz



Poskušal sem tudi različne kombinacije kondenzatorjev in navitij v vezju. Prišel sem do ugotovitve, da z višanjem frekvence pridobimo na razdalji prenosa, izgubimo pa veliko moči. Meritev na zgornjem grafu sem izvedel pri frekvenci 600kHz, ki pa lahko seže, zaradi segrevanja samih komponent in samokalibracije sistema, tudi do 1 MHz.



Slika 13: Graf zmanjševanja moči z razdaljo pri frekvenci 200–400 kHz

## Razprava – ugotovitve

V primerjavi ZVS in STO vezja je moja raziskava pokazala naslednje ugotovitve :

### ZVS:

#### Prednosti:

- večja razdalja,
- večja moč.

#### Slabosti:

- drag,
- težko je ujeti resonančno frekvenco,
- porabi veliko toka,
- pregrevanje,
- ne zažene se samo.

### STO:

#### Prednosti:

- vezje ima samozagon,
- je poceni,
- vezje se samo prilagodi porabniku,
- frekvenca oddajnika je lahko nastavljiva,
- zanesljivo delovanje.

#### Slabosti:

- krajša razdalja prenosa (maksimalno 30–40 cm),
- manjša moč prenosa.

Zaradi zgoraj navedenih razlogov je moj izbor vezje STO.

## Zaključek

Pri brezžičnem prenosu energije izdelava elektronskega pretvornika, ki bo pretvoril električno energijo na frekvenco optimalnega prenosa, ne bo takšen problem. Večjo težavo vidim v tem, kako najti pogoje optimalnega prenosa. Mislim tudi, da je tu še veliko potreb po preizkušanju z realnimi elementi, saj simulacije (vsaj na cenovno dostopnih programih) še niso možne.



## Literatura

R. Lorencon; Elektronski elementi in vezja; Maya studio; 1996, 2003

Spletni viri:

- <https://www.youtube.com/watch?v=xUQYMfPac0g>
- <https://www.youtube.com/watch?v=ExU32UyGX6w>
- [https://www.youtube.com/watch?v=iOVg62\\_DUYU](https://www.youtube.com/watch?v=iOVg62_DUYU)