Bežični prijenos energije u višekorisničkom okruženju

Čizmar, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:167588

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA

Sveučilišni studij

Bežični prijenos energije u višekorisničkom okruženju

Završni rad

Ivan Čizmar

Osijek, 2016.

ETFOS
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom studiju

Osijek,

Odboru za završne i diplomske ispite

Prijedlog ocjene završnog rada

Ime i prezime studenta:	Ivan Čizmar
Studij, smjer:	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. studenta, godina upisa:	3735, 28.08.2013.
Mentor:	doc.dr.sc. Davor Vinko
Sumentor:	
Naslov završnog rada:	Bežični prijenos energije u višekorisničkom okruženju
Primarna znanstvena grana rada:	Radiokomunikacije
Sekundarna znanstvena grana (ili polje) rada:	Elektronika
Predložena ocjena završnog rada:	
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: Jasnoća pismenog izražavanja: Razina samostalnosti:

Potpis sumentora:	Potpis mentora:

Dostaviti:

1. Studentska služba

Potpis predsjednika Odbora: _____

Dostaviti:

1. Studentska služba

ETFOS
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek,

Ime i prezime studenta:	Ivan Čizmar
Studij :	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. studenta, godina upisa:	3735, 28.08.2013.

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom**:** Bežični prijenos energije u višekorisničkom okruženju

izrađen pod vodstvom mentora doc.dr.sc. Davor Vinko

i sumentora

mojvlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.
Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada,osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, ašto je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

Sadržaj

1. Uvod 1
1.1 Zadatak završnog rada 1
2. Bežični prijenos energije u višekorisničkom okruženju 2
2.1 Povijest 2
2.2 Principijelna blok shema 3
3.Sustav mjerenja 10
3.1 Sheme 10
3.2 Zavojnice 13
4.Mjerenje 17
4.1 Rezultati mjerenja 19
5. Zaključak 24
Literatura 25
Sažetak 26
Životopis 27

1. Uvod

Cilj ovog završnog rada je prikazati princip bežičnog prijenosa energije. Pod time se smatra prijenos električne energije s izvora do trošila koji nisu u istom strujnom krugu, tj. nemaju spojnih točaka. Takav prijenos energije potreban je kada je spajanje vodičima nezgodno ili nemoguće. Trenutačno takav prijenos energije postaje sve rasprostranjeniji. Jedna od najvećih ideja je opskrbljivati cijeli planet generiranom Sunčevom energijom pomoću solarnih satelita iz svemira bežičnim putem. [1] Pošto je najveći problem udaljenost, primjena se sužava na manje udaljenosti. Primjerice bežični punjači mobitnih uređaja, gdje je ideja napajanje mobilnih uređaja kada su u blizini izvora napajanja. Bežični prijenos energije pomoći će i u automobilskoj industriji gdje je sve veći broj vozila s električnim motorima. Jedno od rješenja punjenja motora je automatski čim se vozilo parkira iznad zavojnice koja može biti ugrađena ispod ceste ili na parkirnim mjestima. [2] U ovom završnom radu promatrat će se promjene u sustavu ukoliko se u isti doda više korisnika. U sljedećim poglavljima bit će opisan utjecaj jedne zavojnice na drugu, a u ovom slučaju to je utjecaj predajne zavojnice na prijemnu. Zatim će biti odrađena mjerenja koja će biti prikazana tablicama i grafovima radi boljeg uvida u promjene u sustavu bežičnog prijenosa energije.

1.1 Zadatak završnog rada

Zadatak završnog rada je kroz mjerenja u laboratoriju evaluirati utjecaj većeg broja korisnika (prijemnika) na performanse sustava bežičnog prijenosa energije.

2. Bežični prijenos energije u višekorisničkom okruženju

2.1 Povijest

U prirodi postoje više vrsta prijenosa i pretvorbe energije. Faraday, jedan od najvećih znanstvenika ikada, bio je oduševljen Ampèrovom teorijom u kojoj Ampèr govori kako promjenjiva električna struja stvara magnetsko polje. Njegova zamisao je bila da će inducirana struja inducirati neku drugu struju, ali za to je bio potreban izmjenični izvor što tada nije postojalo. 1831 godine otkrio je da se u drugom električnom krugu inducira električna struja prilikom uključivanja i isključivanja električne struje u jednom strujnom krugu, te da pri uključenju kruga struja ima jedan smjer, a pri isključenju drugi. Tako je zaključio da se električna struja u drugom strujnom krugu može inducirati promjenjivom strujom u prvom. Također je odradio eksperiment u kojem se jedan strujni krug, kojim protječe električna struja, primicao i odmicao drugom strujnom krugu te time ponovno primijetio induciranje struje. Neki od tih pokusa korišteni su i u ovom eksperimentu kao što su primicanje i odmicanje strujnih krugova te promatranje promjena u sustavu prilikom tog pomicanja. Sličan projekt odradio je Nikola Tesla. Njegov projekt zvao se Wardenclyff toranj.



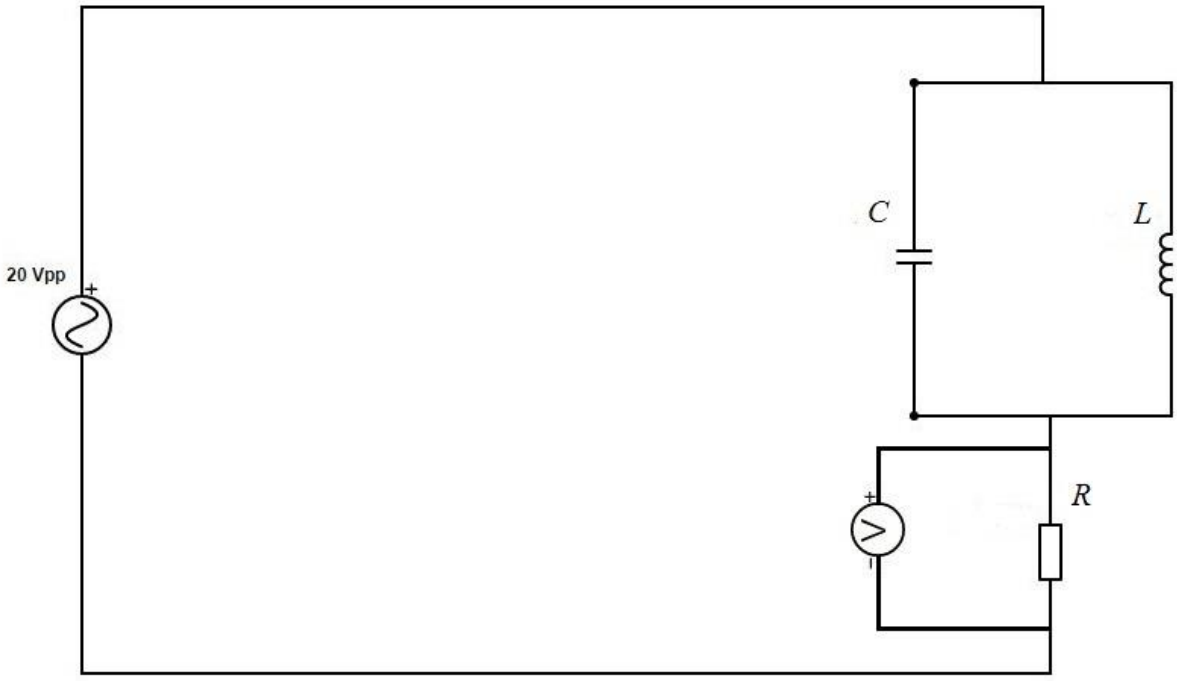
Slika 2. 1 Teslin ili Wardenclyff toranj [3]

Cilj njegovog projekta je bio bežični prijenos energije. Naime, načelo rada njegova tornja zasniva se na pobuđivanju energije, a ne kao klasični prijenos energije preko elektromagnetskih valova. Također je koristio odašiljač i prijemnik kao što su korišteni i u ovom eksperimentu, ali u ovom eksperimentu je razlika što je prijenos odrađen u bliskom polju (*near field*) dok je kod

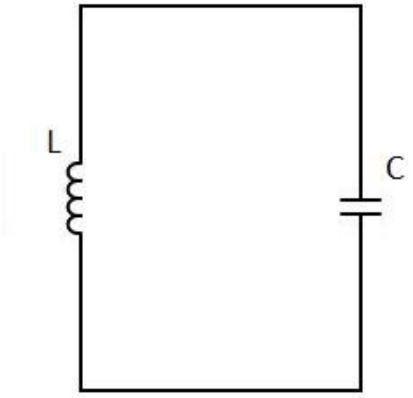
Teslinog pokusa ideja bila prijenos energije kroz daleko polje (*far field*). [4] Osnovni uvijet za maksimalni prijenos energije je da obje zavojnice budu u rezonantnoj frekvenciji jer tada su gubici svedeni na minimum.

2.2 Principijelna blok shema

U ovom podnaslovu biti će prikazana principijelna shema kako predajne zavojnice (Sl. 2.2), tako i prijemne zavojnice (Sl. 2.3). Također će biti opisani korišteni elementi, prikazano magnetsko polje zavojnice s *N* namota (Sl. 2.5) te sam način izrade zavojnica.

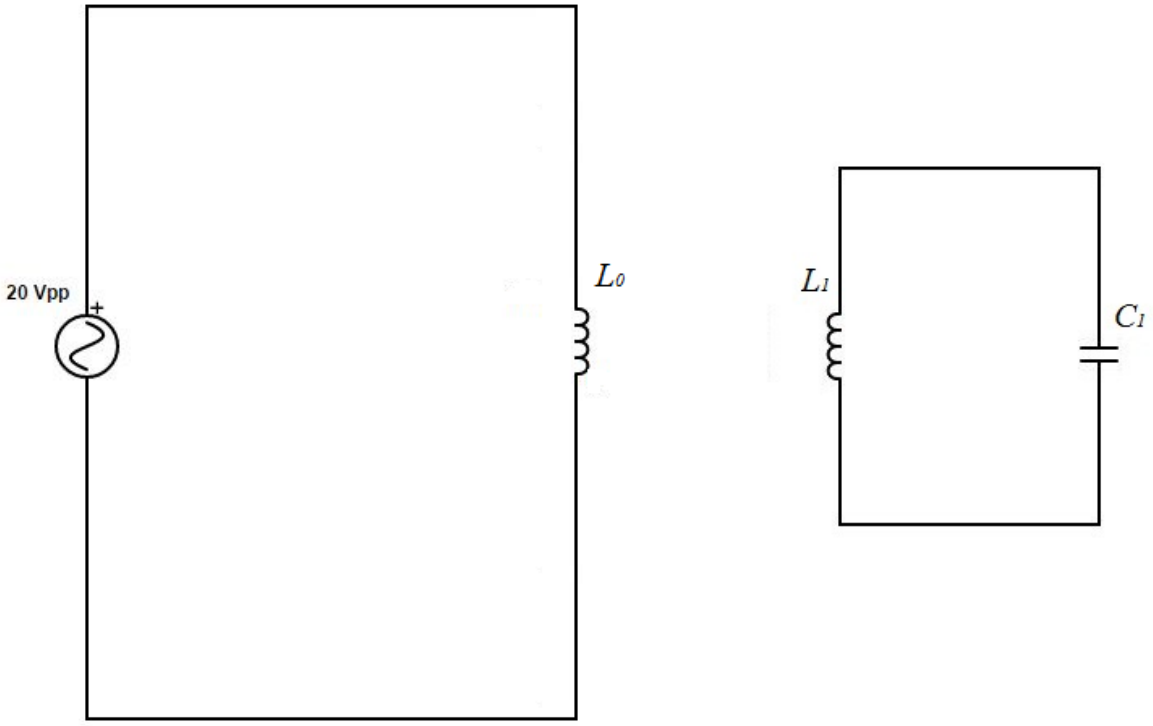


Slika 2.2 Principijelna blok shema predajne zavojnice



Slika 2.3 Principijelna blok shema prijemne zavojnice

U ovom eksperimentu korištene su dvije zavojnice, predajna i prijemna te je cilj bio ostvariti što bolji bežični prijenos energije i provesti mjerenja koja prikazuju taj prijenos i promjene uslijed istog. U shemi (Sl. 2.2) prikazan je funkcijski generator (izvor napajanja) koji na predajnu zavojnicu generira izmjenični sinusni signal napona amplitude 10 V (U_{pp}= 20 V), te frekvencije signala od 165 kHz (korištena oprema radi na frekvenciji od 1 Hz do 80 MHz). U paraleli s predajnom zavojnicom spojen je kondenzator od 5 nF (C= 5 nF, u proračunu ta vrijednost treba biti 5.17 nF, ali korišten je kondenzator od 5 nF zbog veće jednostavnosti samog spajanja, a rezonantna frekvencija se mijenja zanemarivo). Nakon paralele predajne zavojnice i kondenzatora, u seriju s njima spojen je otpornik od 100 Ω (R= 100 Ω). U paralelu s otpornikom spojen je osciloskop koji je na shemi (Sl. 2.2) prikazan kao voltmetar, jer jedina njegova uloga u ovom eksperimentu je mjerenje pada napona na otporniku R kako bi se ustanovilo pri kojoj frekvenciji je pad napona najmanji. Pri izradi prijemnih zavojnica korištena je predajna zavojnica (ta predajna zavojnica zanemarivih je dimenzija i parametara jer je korištena samo kako bi predala magnetsku energiju prijemnim zavojnicama radi njihove izrade što je prikazano na slici 2.4.

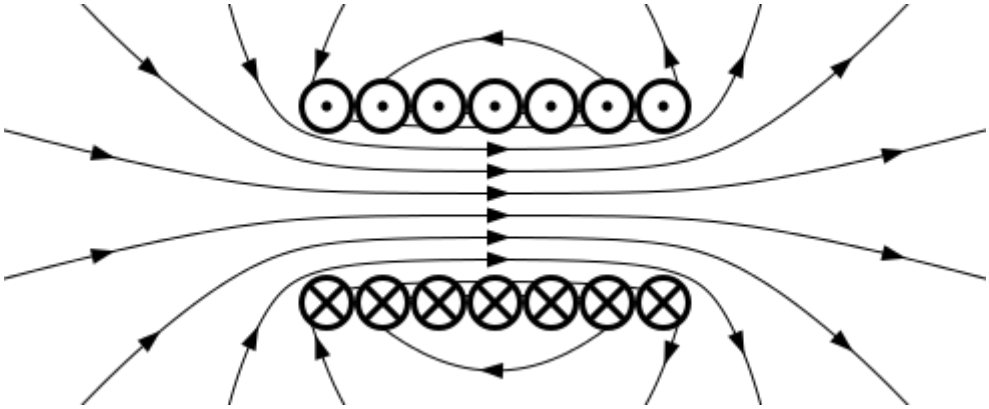


Slika 2. 4 Prikaz izrade prijemnih zavojnica

gdje je:

- L_0 – induktivitet zavojnice korištene za izradu prijemnih
- L_1 – induktivitet prijemne zavojnice
- C_1 – kapacitet prijemne zavojnice

U paralelu istih tih prijemnih zavojnica spojen je kondenzator (radi postizanja rezonancije) i osciloskop na kojem se pratila amplituda napona. U trenutku kada je na generatoru signala bila frekvencija od 165 kHz, a na osciloskopu najveća moguća amplituda napona, znači da je u strujni krug prijemne zavojnice dodan željeni iznos kapaciteta te da je postignuta željena rezonancija.



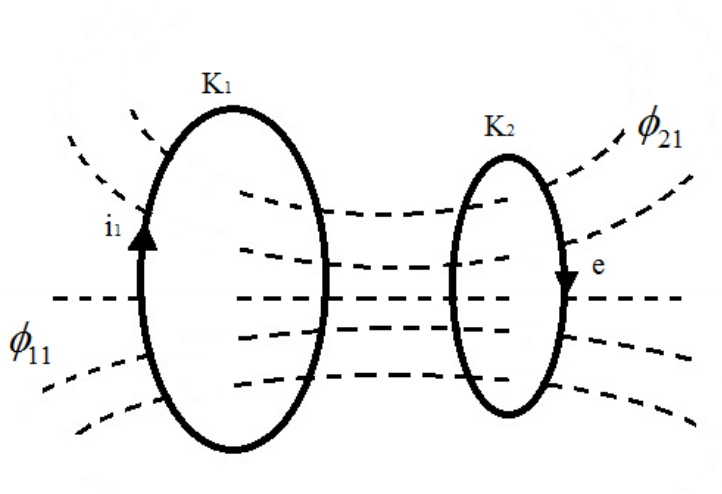
Slika 2.5 Prikaz magnetskog polja koje stvara zavojnica protjecanja strujom i [5]

Kao što je već navedeno, Faraday je primijetio da se uključenjem i isključenjem električne struje u jednom strujnom krugu inducira električna struja u drugom bliskom strujnom krugu. To će biti objašnjeno pomoću dvije konture, a ne pomoću dva svitka (zavojnice) radi jednostavnosti te će biti prikazano na slici 2.6. Ako konturom K_1 teče promjenjiva električna struja i_1, a na konturu K_2 nije spojeno nikakvo napajanje, ta struja kroz K_1 će proizvesti magnetski tok koji se u teoriji sastoji od dva magnetska toka, a to su:

$$\phi_{11} = \phi_{ras1} + \phi_{21} \tag{2-1}$$

gdje je:

- ϕ_{11} – magnetski tok zavojnice
- ϕ_{ras1} – rasipni magnetski tok koji ne obuhvaća konturu K_2 te se zanemaruje
- ϕ_{21} – tok međusobne indukcije jer obuhvaća konturu K_2



Slika 2. 6 Prikaz kontura i međuindukcije

Ukoliko raste struja i_1, rasti će i tok međusobne indukcije ϕ_{21} pa je:

$$\phi_{21} = M_{21} i_1 \tag{2-2}$$

gdje je:

- M_{21} – koeficijent proporcionalnosti koji ovisi o obliku i dimenzijama korištenih kontura (u našem slučaju zavojnica)
- i_1 – struja kroz konturu K_1

Koeficijent M_{21} naziva se koeficijent međusobne indukcije ili međuinduktivitet. [6] U konturi K_2 inducirati će se elektromotrona sila (e) čiji je smjer usklađen s referentnim smjerom toka ϕ_{21}. Tada kroz tu konturu proteče struja i_2 te ona stvara magnetski tok:

$$\phi_{22} = \phi_{ras2} + \phi_{12} \tag{2-3}$$

gdje je:

- ϕ_{22} – magnetski tok zavojnice
- ϕ_{ras2} – rasipni magnetski tok koji ne obuhvaća konturu K_1 te se zanemaruje
- ϕ_{12} – tok međusobne indukcije jer obuhvaća konturu K_1

Također ukoliko raste struja i_2 kroz konturu K_2:

$$\phi_{12} = M_{12} i_2 \tag{2-4}$$

gdje je:

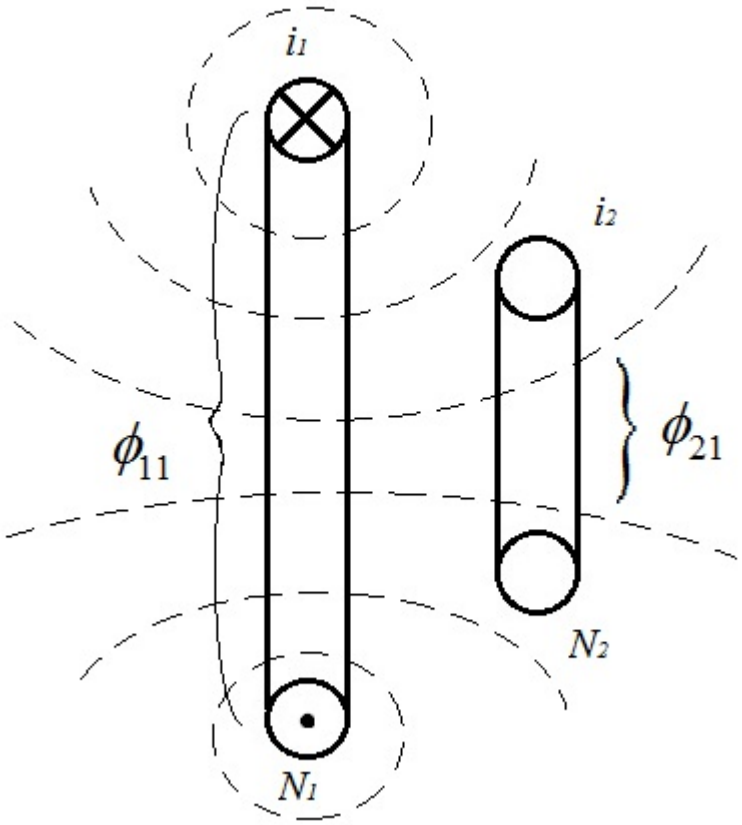
- M_{21} – koeficijent proporcionalnosti koji ovisi o obliku i dimenzijama korištenih kontura (u našem slučaju zavojnica)
- i_2 – struja kroz konturu K_2

Analiza međuinduktiviteta zavojnice značajno je kompliciranija nego ona međuinduktiviteta konture zbog toga što svitak ima N namota. [7] Magnetski tok kojeg stvara struja i_1 prolazi kroz svaki zavoj svitka kao što je prikazano na slici 2.7. Sastav magnetskog toka je identičan onome kod kontura te se sastoji od rasipnog magnetskog toka i magnetskog toka koji obuhvaća drugi svitak. Međuinduktivitet između svitaka 2 i 1 je:

$$M_{21} = \frac{N_2 \phi_{21}}{i_1} \tag{2-5}$$

Suprotno tome međuinduktivitet između svitka 1 i 2 računa se pomoću formule:

$$M_{12} = \frac{N_1 \phi_{12}}{i_2} \tag{2-6}$$



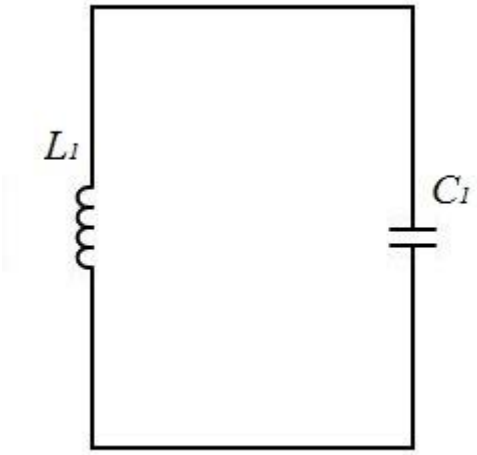
Slika 2. 7 Prikaz svitka s N_1 i N_2 namotaja

Matematički postupak računanja induktiviteta je vrlo složen te se on najčešće računa pomoću računala. U slučaju kada se umjesto konture koriste svitci koji sadrže veći broj namota, sve postaje mnogo kompliciranije. Zbog toga u ovom eksperimentu nije rađen detaljniji proračun te simulacije nisu odrađene. Prilikom samog mjerenja korištene su i po 4 zavojnice u isto vrijeme gdje je broj međuinduktivnih veza vrlo visok te bi simulacija bila vrlo složena. Zbog toga je odrađen samo eksperimentalni dio zadatka bez proširenih mjerenja i simulacija.

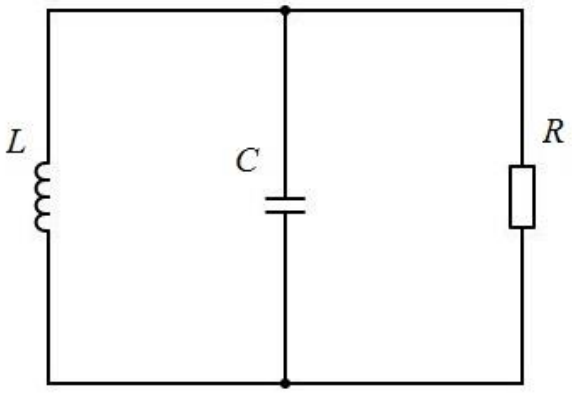
3.Sustav mjerenja

U ovom poglavlju prikazane su sve sheme korištene u eksperimentu (Sl. 3.1 i Sl. 3.2). Osim shema objašnjeni su korišteni elementi te sam proces mjerenja (Sl. 3.3, Sl. 3.4 i Sl. 3.5).

3.1 Sheme



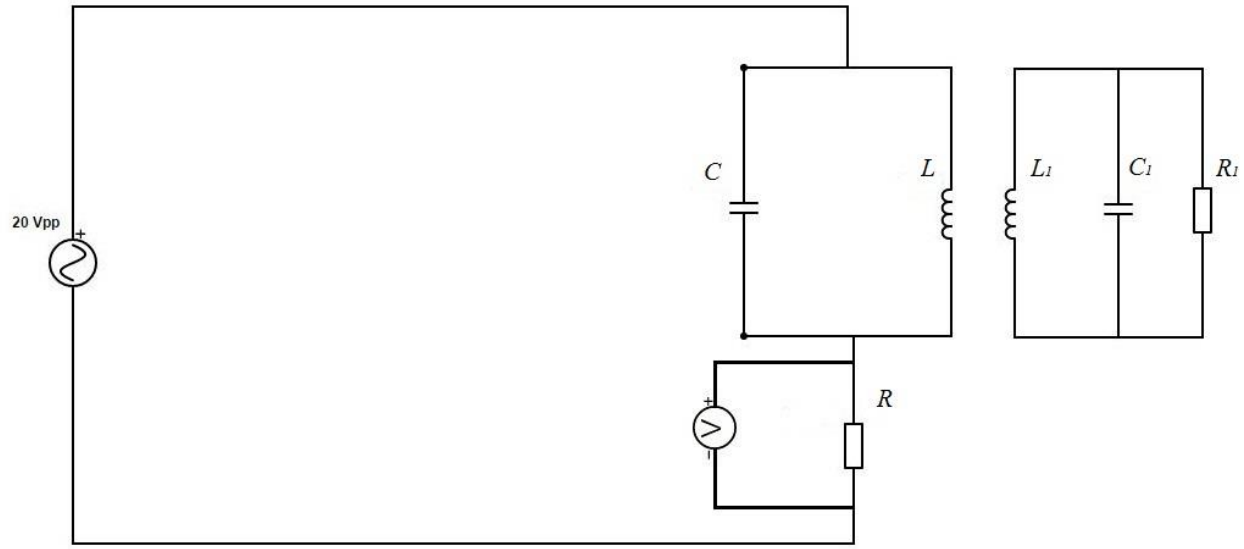
Slika 3.1 Shema prijemne zavojnice bez trošila



Slika 3. 2 Shema predajne zavojnice s trošilom

gdje je:

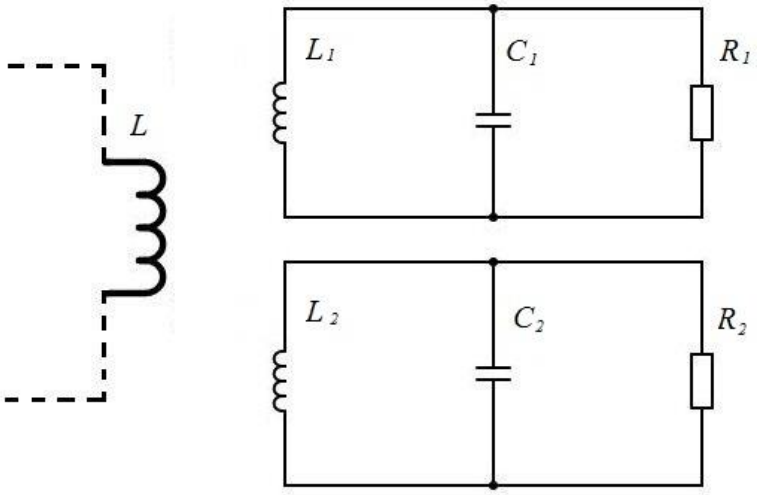
- *L* - induktivitet predajne zavojnice
- L_1 – induktivitet prijemne zavojnice
- *C* - ukupni kapacitet predajne kondenzatora
- C_1 - ukupni kapacitet prijemne kondenzatora
- *R* – otpor trošila



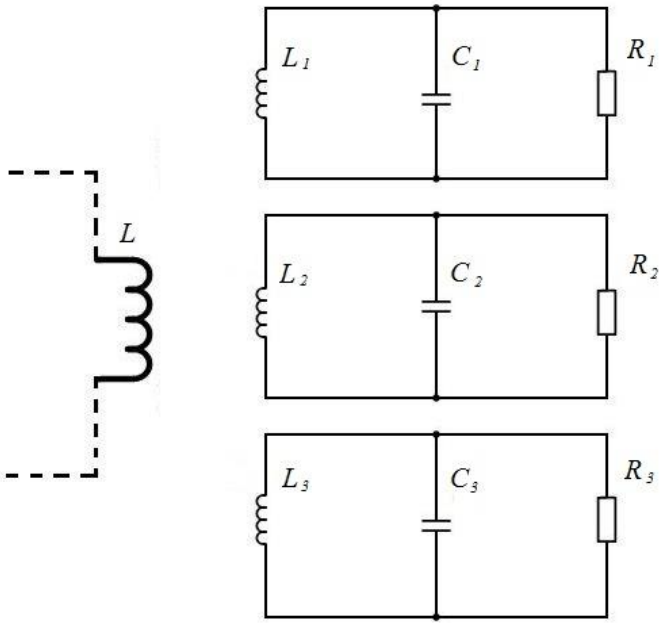
Slika 3.3 Shema mjerenja s prijemnom zavojnicom s trošilom

gdje je:

- L – induktivitet predajne zavojnice
- C – ukupni kapacitet kondenzatora predajne zavojnice
- R – otpor od 100 Ω na kojem je mjeren pad napona pomoću osciloskopa
- L_1 – induktivitet prijemne zavojnice
- C_1 – ukupni kapacitet kondenzatora prijemne zavojnice
- R_1 – otpor trošila dodanog na prijemnu zavojnicu



Slika 3.4 Shema mjerenja s dvije prijemne zavojnice



Slika 3.5 Shema mjerenja s tri prijemne zavojnice

gdje je:

- L – induktivitet predajne zavojnice
- L_1, L_2, L_3– induktivitet prijemne zavojnice
- C_1, C_2, C_3 – ukupni kapacitet kondenzatora prijemne zavojnice
- R_1, R_2, R_3 – otpor trošila dodanog na prijemnu zavojnicu

3.2 Zavojnice

Za mjerenje korištene su 3 zavojnice. Parametri zavojnica:

1. Zavojnica:
   L = 0.9492 µH
   C = 0.887 µF
   l = 7 mm
   r = 52.5 mm
   $\mu = 4e-7*3.1415$ TmA^{-1}
   N = 2

2. Zavojnica:
   L = 3.0790 µH
   C = 0.079 µF
   l = 14 mm
   r = 52.5 mm
   $\mu = 4e-7*3.1415$ TmA^{-1}
   N = 4

3. Zavojnica:
   L = 5.9659 µH
   C = 0.147 µF
   l = 21 mm
   r = 52.5 mm
   $\mu = 4e-7*3.1415$ TmA^{-1}
   N = 6

gdje je:

- L - induktivitet zavojnice
- C - ukupni kapacitet kondenzatora
- l - duljina zavojnice
- r - polumjer zavojnice
- μ - relativna permeabilnost [$\mu = \mu_0 \mu_r$]

– N – broj namota

Prvobitna razlika u zavojnicama je broj namota N. Iz parametara je vidljivo da je površina presjeka zavojnica jednaka, ali brojem namotaja se mijenjaju njena duljina, a samim time i induktivitet zavojnice. Promjer žice korištene pri izradi zavojnica iznosio je 3,5 mm, stoga duljinu zavojnica l dobijemo po formuli:

$$l = Na \tag{3-1}$$

gdje je:

– l – duljina zavojnice
– N – broj namota
– a – duljina promjera žice

U eksperimentu su korištene zavojnice s 2, 4 i 6 namota te samim time vidljivo je iz formule (3-1) da povećanjem broja namota povećava se i duljina same zavojnice. Promjenom broja namota također se mijenja i induktivitet zavojnice. Iz navedenih parametara zavojnica vidljivo je da povećanje broja namota povećava se i induktivitet zavojnice. Sam induktivitet zavojnice izračunat je pomoću online kalkulatora: http://www.mogami.com/e/cad/coil-01.html [8]. Iz parametara je također vidljivo da se i ukupan kapacitet kondenzatora spojenih u paralelu sa zavojnicom mijenja. Uloga kapaciteta je postizanje rezonantne frekvencije. Promjenom broja namota i induktiviteta potrebno je izračunati koliki je kapacitet potreban da bi se postigla rezonancija, tj. da bi se u tom strujnom krugu gubici smanjili na minimum. Induktivni otpor postaje jednak kapacitivnom otporu te se oni poništavaju, a struja i napon izvora su u fazi. U ovom slučaju se radi o strujnoj rezonanciji jer su induktivitet i kapacitet spojeni u paralelu. Tada su induktivna i kapacitivna vodljivost jednake, a struje kroz induktivitet i kapacitet jednake po iznosu, ali su suprotne po fazi. Rezonantna frekvencija računa se po formuli:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{3-3}$$

gdje je:

– L - induktivitet zavojnice
– C - kapacitet kondenzatora

Kapacitet potreban za postizanje rezonancije računa se po formuli:

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L} \tag{3-4}$$

Kapacitet korišten u eksperimentu značajno se razlikuje od onog dobivenog proračunom. U praktičnom djelu on se razlikuje zbog neidealnosti opreme, spojeva napravljenih prilikom lemljenja te tolerancije samih kondenzatora. U teoriji kapaciteti dobiveni proračunom iznose:

C_1 = 0.9802 µF

C_2 = 0.30218 µF

C_3 = 0.15595 µF

Vrijednosti kapaciteta dobivene eksperimentom:

C_1 = 0.887µF

C_2 =0.079 µF

C_3 = 0.147 µF

gdje je:

- C_1–ukupna vrijednost kapaciteta korištenog kod prijemne zavojnice s 2 namota
- C_2 - ukupna vrijednost kapaciteta korištenog kod prijemne zavojnice s 4 namota
- C_3 - ukupna vrijednost kapaciteta korištenog kod prijemne zavojnice s 6 namota

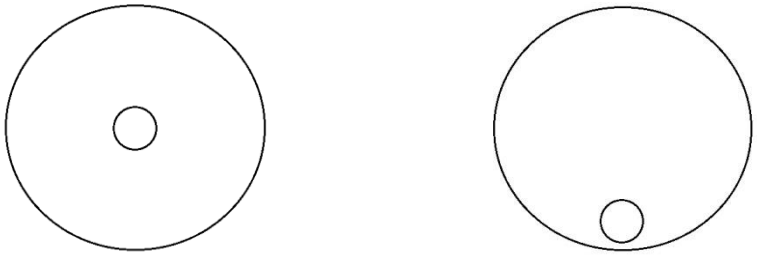
Razlika između teorijskih vrijednosti i vrijednosti korištenih u praktičnom djelu je znatna što je i vidljivo iz gore navedenih vrijednosti. Odstupanje je najveće na kondenzatoru C_2 gdje je razlika od 0.22318 µF. To odstupanje od izračunate vrijednosti dogodilo se zbog nesavršenosti mjerne opreme te zbog same tolerancije kondenzatora. Eskperimentalne vrijednosti kapaciteta dobile su se tako što je u paralelu s kondenzatorom spojen osciloskop na prijemnu zavojnicu. S generatora signala pušten je sinusni signal amplitude U_{PP} = 20 V i frekvencije f = 165 kHz na zavojnicu zanemarivih dimenzija koja je predstavljala predajnu zavojnicu. Ona je približena prijemnim zavojnicama te se nakon toga dodavao određen broj kondenzatora sve dok na prijemnoj zavojnici na frekvenciji signala f = 165 kHz puštenoj s generatora signala nije pojavila maksimalna

vrijednost amplitude napona. Tada je vrijednost dodanog kapaciteta ispravna za postizanje rezonantne frekvencije prijemne zavojnice.

4.Mjerenje

U ovom poglavlju završnog rada bit će prikazani sprovedeni načini mjerenja te tablice i grafovi u kojima su prikazani rezultati svakog mjerenja. Mjerenja su provedena prvo s jednim korisnikom za položaje kao na slikama 4.1.a i 4.1.b, zatim s dva korisnika za položaje kao na slikama 4.2.a i 4.2.b te s tri korisnika čiji su položaji pri mjerenju prikazani na slikama 4.3.a, 4.3.b i 4.3.c. Nakon svakog grafa bit će opisano svako mjerenje i dobiveni rezultati.

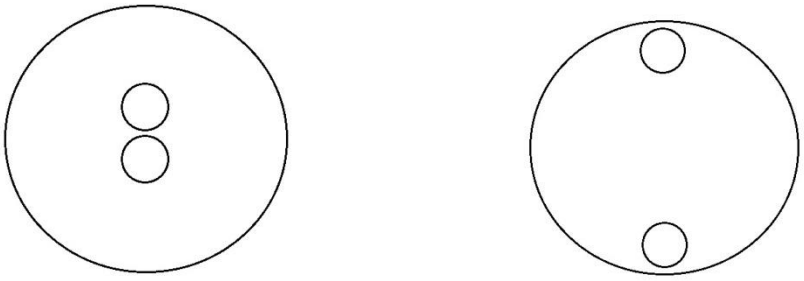
a) Mjerenja samo s jednom zavojnicom:



a) b)

Slika 4. 1.a prikazuje mjerenje kada je položaj prijemne zavojnice u sredini predajne, a slika 4.1.b pokazuje mjerenje kada je prijemna zavojnica uz rub predajne zavojnice

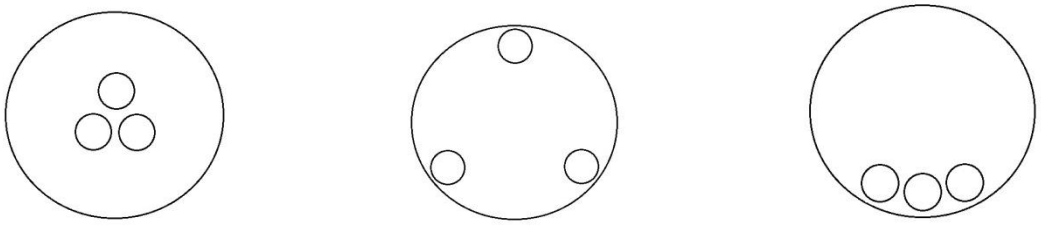
b) Mjerenja s dvije zavojnice:



a) b)

Slika 4. 2.a prikazuje mjerenje kada je položaj dviju prijemnih zavojnica u sredini predajne, a slika 4. 2.b pokazuje mjerenje kada su one uz rub predajne zavojnice

c) Mjerenja s tri zavojnice:



a) b) c)

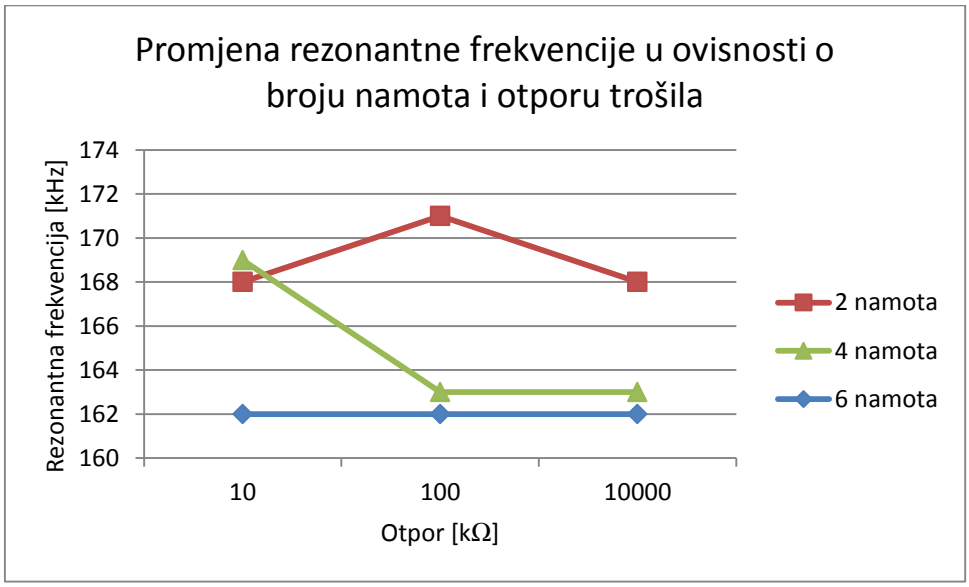
Slika 4.3.a slika prikazuje mjerenje kada je položaj prijemnih zavojnica u sredini predajne, Slika 4.3.b prikazuje njihov odmaknuti raspored po rubu predajne, dok Slika 4.3.c pokazuje mjerenje kada su prijemne zavojnice zajedno uz rub predajne zavojnice.

4.1 Rezultati mjerenja:

Mjerenje s položajem kao na slici 4.1.a:

Tablica 4. 1 Tablica rezultata dobivenih mjerenjem kao na slici 4.1. a

Otpor(*R*)/Frekvencija(*f*)	2 namota	4 namota	6 namota
S trošilom od 10 kΩ	168 kHz	169 kHz	162 kHz
S trošilom od 100 kΩ	171 kHz	163 kHz	162 kHz
Bez trošila	168 kHz	163 kHz	162 kHz



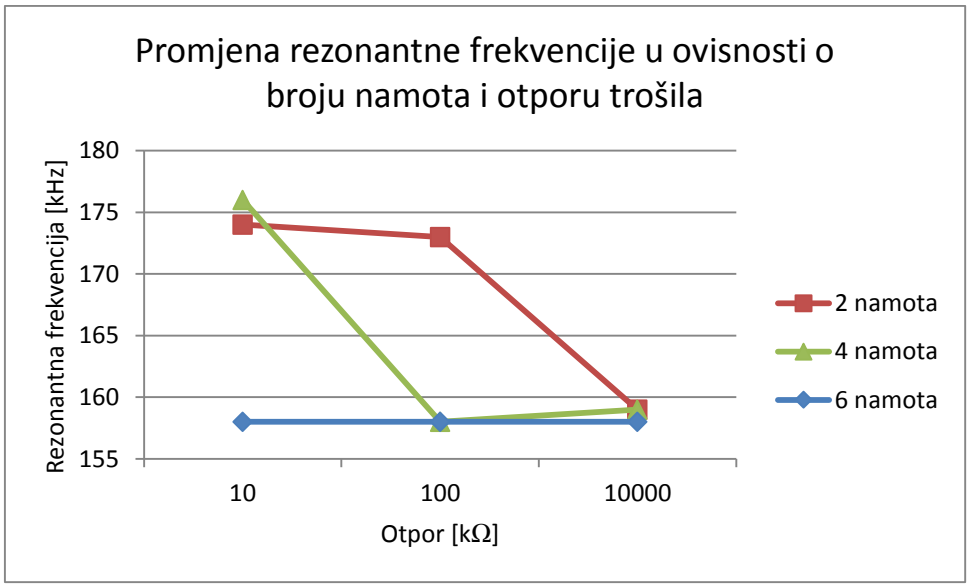
Graf 4. 1 Prikaz rezultata iz tablice 4.1

Iz tablice 4.1 i grafa 4.1 je vidljiva da rezonantna frekvencija sustava najviše promijenila kada se na prijemnu zavojnicu sa 4 namota priključio teret od 100 kΩ. Povećanjem otpora 10 puta, rezonantna frekvencija joj je pala sa 169 kHz na 163 kHz. Iz toga je vidljivo da za predajnu zavojnicu s 4 namota, povećanjem otpora rezonantna frekvencija predajne zavojnice opada. Kod predajne zavojnice s 2 namota, povećanjem otpora sa 10 kΩ na 100kΩ rezonantna frekvencija predajne zavojnice raste sa 168 kHz na 171 kHz, te povećanjem na 10 MΩ (otpor sonde osciloskopa) ona pada na vrijednost od 168 kHz.

Mjerenje s položajem kao na slici 4.1.b:

Tablica 4. 2 Tablica prikazuje rezultate mjerenja dobivenih postupkom kao na slici 4.1.b

Otpor(*R*)/Frekvencija(*f*)	2 namota	4 namota	6 namota
S trošilom od 10 kΩ	174 kHz	176 kHz	158 kHz
S trošilom od 100 kΩ	173 kHz	158 kHz	158 kHz
Bez trošila	159 kHz	159 kHz	158 kHz



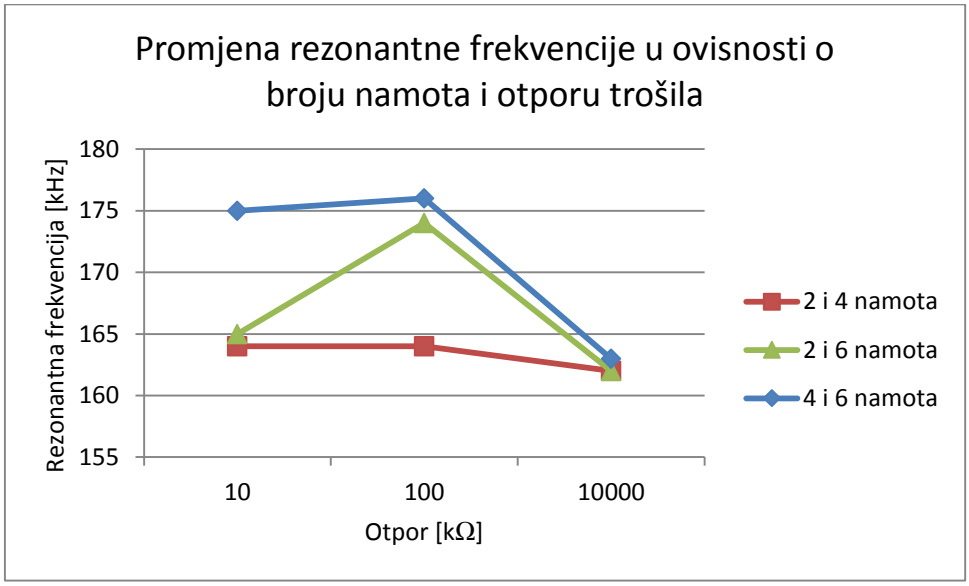
Graf 4. 2 Prikaz rezultata iz tablice 4.2

Iz tablice 4. 3 i grafa 4. 4 je vidljivo da rezonantna frekvencija predajne zavojnice najviše pada prilikom mjerenja s prijemnom zavojnicom s 4 namota, tada frekvencija pada s 176 kHz, gdje je u paralelu s prijemnom zavojnicom spojeno trošilo od 10 kΩ, na frekvenciju od 158 kHz kada je spojeno trošilo od 100 kΩ. Kod mjerenja s prijemnom zavojnicom rezonantna frekvencija pri spoju trošila od 10 kΩ ima vrijednost od 174 kHz, promjenom otpora na 100 kΩ, rezonantna frekvencija pada za 1 kHz, dok na otporu od 10 MΩ rezonantna frekvencija pada na 159 kHz. Kod eksperimenta s prijemnom zavojnicom s 6 namota rezonantna frekvencija se ne mijenja bez obzira koje trošilo je bilo spojeno u paralelu s zavojnicom i kondenzatorima.

Mjerenje s položajem kao na slici 4.2.a:

Tablica 4. 3 Tablica prikazuje rezultate mjerenja dobivenih postupkom kao na slici 4.2.a

Otpor(*R*)/Frekvencija(*f*)	2 i 4 namota	2 i 6 namota	4 i 6 namota
S trošilom od 10 kΩ	164 kHz	165 kHz	175 kHz
S trošilom od 100 kΩ	164 kHz	174 kHz	176 kHz
Bez trošila	162 kHz	162 kHz	164 kHz



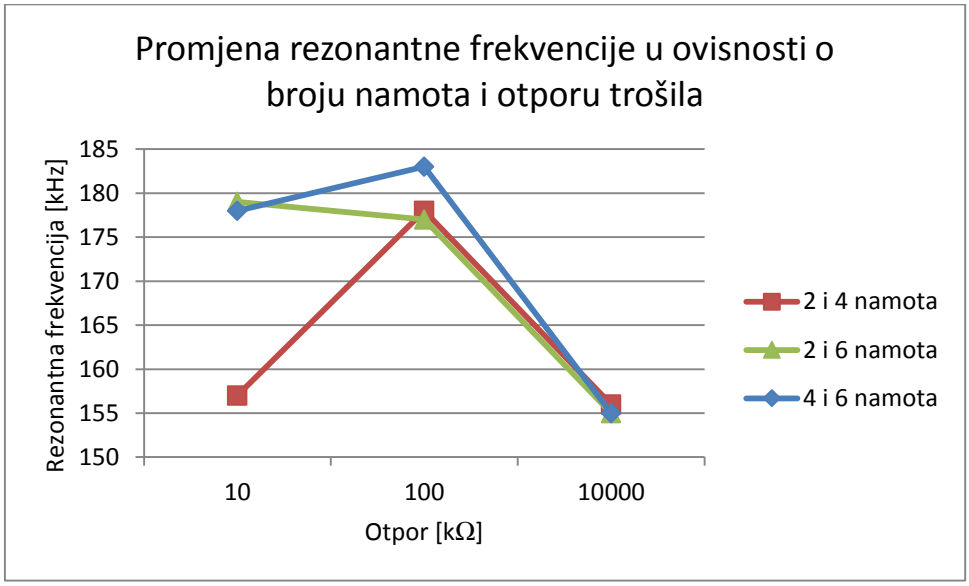
Graf 4. 3 Prikaz rezultata iz tablice 4.3

Iz tablice 4.3 i grafa 4.3 je vidljivo da pri mjerenju s prijemnim zavojnicama s 4 i 6 namota i 2 i 6 namota rezonantna frekvencija raste, dok kod 2 i 4 namota ona ostaje ne promijenjena. Spajanjem trošila od 10 MΩ rezonantna frekvencija predajne zavojnice u slučaju primjene svih 6 prijemnih zavojnica pada. To je vidljivo u grafu 4.3 gdje krivulje u sva 3 slučajeva padaju. Kod prijemnih zavojnica s 2 i 4 namota, rezonantna frekvencija pada s 164 kHz na 162 kHz, kod mjerenja s prijemnim zavojnicama s 2 i 6 namota rezonantna frekvencija pada s 174 kHz na 162 kHz dok kod mjerenja s prijemnom zavojnicom s 4 i 6 namota rezonantna frekvencija predajne zavojnice pada s vrijednosti od 176 kHz na vrijednost od 164 kHz.

Mjerenje s položajem kao na slici 4.2.b:

Tablica 4. 4 Tablica prikazuje rezultate mjerenja dobivenih postupkom kao na slici 4.2.b

Otpor(*R*)/Frekvencija(*f*)	2 i 4 namota	2 i 6 namota	4 i 6 namota
S trošilom od 10 kΩ	157 kHz	179 kHz	178 kHz
S trošilom od 100 kΩ	178 kHz	177 kHz	183 kHz
Bez trošila	156 kHz	155 kHz	155 kHz



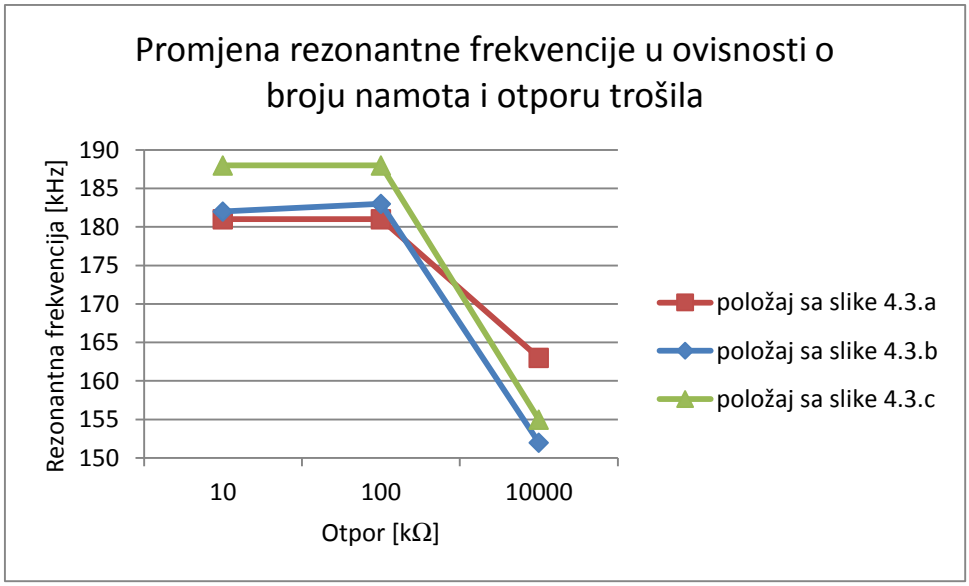
Graf 4. 4 Prikaz rezultata iz tablice 4.4

Iz tablice 4.4 i grafa 4.4 su vidljive značajne promjene rezonantna frekvencije predajne zavojnice. Pri mjerenju s prijemnim zavojnicama s 2 i 4 namota i s zavojnicama s 4 i 6 namota, rezonantna frekvencija predajne zavojnice raste. U slučaju s 2 i 4 namota ona raste s 157 kHz na 178 kHz dok kod eksperimenta s 4 i 6 namota s vrijednosti od 178 kHz raste na 183 kHz. U mjerenju s prijemnim zavojnicama s 2 i 6 namota promjenom tereta s 10 kΩ na 100Ω, rezonantna frekvencija predajne zavojnice pada s vrijednosti 179 kHz na 177 kHz. Zatim u slučaju kada je na prijemnim zavojnicama spojeno trošilo od 10 MΩ, rezonantna frekvencija predajne zavojnice pada znatno u sva tri slučaja. U eksperimentu s zavojnicama s 2 i 4 namota vrijednost rezonantna frekvencija predajne zavojnice pada s 178 kHz na 156 kHz, s zavojnicama s 2 i 6 namota pada s 177 kHz na 155 kHz, a s zavojnicama s 4 i 6 namota pada s vrijednosti od 183 kHz na 155 kHz.

Mjerenje s položajem kao na slikama 4.3.a, 4.3.b, 4.3.c:

Tablica 4. 5 Tablica prikazuje rezultate mjerenja dobivenih postupkom kao na slikama 4.3.a, 4.3.b, 4.3.c:

Otpor(*R*)/Frekvencija(*f*)	Položaj sa slike 4.3.a	Položaj sa slike 4.3.b	Položaj sa slike 4.3.c
S trošilom od 10 kΩ	181 kHz	182 kHz	188 kHz
S trošilom od 100 kΩ	181 kHz	183 kHz	188 kHz
Bez trošila	163 kHz	152 kHz	155 kHz



Graf 4. 5 Prikaz rezultata iz tablice 4.5

Iz tablice 4.5 i grafa 4.5 vidljivo je kada su na prijemne zavojnice spojena trošila od 10 kΩ i 100 kΩ rezonantna frekvencija sustava ostaje ne promijenjena, osim kod položaja kao na slici 4.3.b gdje rezonantna frekvencija sustava raste s 182 kHz na 183 kHz. Pri otporu od 10 MΩ (otpor sonde osciloskopa) rezonantna frekvencija sustava pada kod sva tri načina mjerenja. Najveći pad rezonantne frekvencije sustava događa se kod mjerenja kao na slici 4.4.c. Tada pad rezonantne frekvencije iznosi 33 kHz.

5. Zaključak

Iz mnoštva mjerenja može se zaključiti da prijenos energije ovisi o mnogim čimbenicima. U ovom slučaju, ovisi o broju namota, automatski i o duljini prijemnih zavojnica. Time je promjenjen induktivitet zavojnice, pa za taj induktivitet treba odgovarajuća vrijednost kapaciteta kako bi se postigla rezonancija. Svi ti čimbenici su se pokazali izrazito važnima pri određivanju maksimalnog prijenosa energije pri rezonantnoj frekvenciji predajne, a tako i prijemne zavojnice. Iz samih rezultata mjerenja može se zaključiti da su promjene najmanje ako je u predajnoj zavojnici jedan korisnik (prijemna zavojnica). Tada rezonantna frekvencija ne oscilira previše. Spajanjem trošila na prijemnu zavojnicu, rezonantna frekvencija znatnije oscilira nego kod mjerenja bez trošila. Mjerenja postanu mnogo kompliciranija ako se u predajnu zavojnicu stave dva ili više korisnika. Tada se pad napona mijenja mnogo znatnije nego kod mjerenja s jednim korisnikom. Najkompliciraniji dio eksperimenta je kada su u predajnoj zavojnici tri korisnika na koje je dodatno spojeno trošilo. Tada rezonantna frekvencija raste za čak 20 kHz što je znatno više nego kod mjerenja s manje korisnika. Iz toga se može zaključiti da što više korisnika preuzima energiju na sebe, veće su oscilacije unutar sustava, također i unutar same predajne zavojnice, te je time i promjena rezonantne frekvencije bitno veća.

Literatura

[1] http://evarazdin.hr/zanimljivosti/tehonopregled/revolucionarni-bezicni-prijenos-elektricne-energije-315801/ , dostupno: 14.6.2016. 10:50

[2] http://www.dnevno.hr/magazin/techno/tehniciranje/video-dobrodosli-u-doba-bezicnog-prijenosa-energije-32458 , dostupno: 14.6.2016. 16:30

[3] http://www.radiomuseum-croatia.com/root_files/images/tesla/toranj.jpg , dostupno: 20.6.2016. 19:50

[4] https://www.youtube.com/watch?v=OiqseF3Nb5I , dostupno: 20.6.2016. 19:45

[5] https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetska_indukcija#/media/File:VFPt_Solenoid_correct2.svg , dostupno: 17.5.2016. 12:30

[6] Prof. dr sc. Branislav Kuzmanović, Osnove elektrotehnike I, Element, Zagreb, 2000.

[7] Prof. dr sc. Branislav Kuzmanović, Osnove elektrotehnike II, Element, Zagreb, 2002.

[8] http://www.mogami.com/e/cad/coil-01.html , dostupno: 15.5.2016. 15:00

Sažetak

Završni rad proučava utjecaj većeg broja korisnika na rezonantnu frekvenciju sustava bežičnog prijenosa energije. Navedeni utjecaj je evaluiran eksperimentalnim putem. Laboratorijska mjerenja su vršena za različite prostorne konfiguracije predajnika i prijemnika. Broj korisnika (prijemnika) tokom eksperimenta ograničen je na 3 korisnika. Rezultati mjerenja su pokazali da povećanjem broja korisnika i njihov položaj u odnosu na predajnu zavojnicu stvara promjene u cijelom sustavu. Te promjene očituju se kao promjena rezonantne frekvencije.

Wireless energy transmission in a multi-user environment

Abstract

The paper studies the effect of a large number of users on the resonant frequency of the wireless energy transmission system. The mentioned effect is experimentally evaluated. Laboratory measurements were performed for different spatial configurations of transmitters and receivers. The number of users (receivers) is limited to 3 users. The measurement results showed that the increase of users and their position in relation to the transmitting coil creates changes in the whole system. These changes are reflected as the change of resonant frequency.

Životopis

Ivan Čizmar rođen je 04.12.1994. godine u Austriji u gradu Spittal an der Drau. Vrtić je pohađao 2000. godine u Naselju prijateljstva u Čepinu. Nakon godine dana pohađanja vrtića preselio se u malo selo u Baranji imenom Popovac gdje se 2001. godine upisao u Osnovnu školu Popovac koju je završio 2009. godine. Iste te godine upisao je elektrotehnički smjer u Prvoj srednjoj školi Beli Manastir u Belom Manastiru te je maturirao u 2012./2013. godini. Tijekom obrazovanja u osnovnoj i srednjoj školi prisustvovao je natjecanjima od kojih su najčešća bila iz područja matematike i fizike. Nakon uspješno završene srednje škole, upisao je Elektrotehnički fakultet u Osijeku te boravi u studentskom domu. Na drugoj se godini opredijelio na smjer komunikacije i informatika. Uz školovanje je povremeno bio zaposlen na različitim poslovima, a trenutno radi u Hrvatskom Telekomu te od sedme godine redovito trenira nogomet.