

# Dizajn 3D prijemnika u sustavu bežičnog prijenosa energije

---

Vinković, 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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:145385>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-17**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

**Sveučilišni studij**

**DIZAJN 3D PRIJEMNIKA U SUSTAVU BEŽIČNOG  
PRIJENOSA ENERGIJE**

**Završni rad**

**Ivan Vinković**

**Osijek, 2016.**



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

**ETFOS**

ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK



**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:**

**Studij, smjer:**

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

**Mentor:**

**Sumentor:**

**Naslov završnog rada:**

**Primarna znanstvena grana rada:**

**Sekundarna znanstvena grana (ili polje) rada:**

**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:****Studij :****Mat. br. studenta, godina upisa:**

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom:

izrađen pod vodstvom mentora

i sumentora

moj vlastiti 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, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

## **Sadržaj:**

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 1. UVOD .....                      | 1  |
| 1.1 Zadatak rada .....             | 2  |
| 2. BEŽIČNI PRIJENOS ENERGIJE ..... | 3  |
| 2.1. 3D prijemnik .....            | 3  |
| 3. IZRADA .....                    | 5  |
| 4. MJERENJE .....                  | 8  |
| 5. ZAKLJUČAK .....                 | 21 |
| LITERATURA.....                    | 22 |
| SAŽETAK.....                       | 23 |
| ABSTRACT .....                     | 23 |
| ŽIVOTOPIS .....                    | 24 |

## 1.UVOD

Bežični prijenos energije temelji se na primjeni elektromagnetske indukcije. Elektromagnetskom indukcijom nazivamo pojavu nastanka elektromotorne sile u vodljivoj petlji koju obuhvaća promjenjivi magnetski tok. Elektromagnetsku indukciju se može postići gibanjem metalnog štapa u vremenski konstantnom magnetskom polju gdje zbog gibanja djeluje magnetska sila koja slobodne elektrone pomakne na jedan dio štapa, a također i gibanjem krute konture u nehomogenom vremenski konstantnom magnetskom polju gdje se gibanjem konture u njoj inducira elektromotorna sila uslijed čega će kroz nju poteći električna struja.

Sustavi bežičnog prijenosa energije imaju primjenu od bežičnog punjenja niskonaponskih uređaja (medicinski implantati, prijenosna elektronika) do srednje i visokonaponskih uređaja (pokretni roboti, električni automobili). Većina sustava za bežični prijenos energije prenosi energiju na usmjeren tj. jednodimenzionalan način, ali u posljednje vrijeme sve više na značaju dobiva trodimenzionalni bežični prijenos. Smatra se da magnetski tok treba biti kontroliran tako da tok ide u zavojnicu što je više moguće što se postiže metodom vektora diskretnog magnetskog polja.

Za završni rad osmišljen je i izrađen 3D prijemnik u sustavu bežičnog prijenosa energije. Shema prijemnika je preuzeta sa internetskih stranica uz male dorade prema savjetima mentora na konzultacijama. Problem je bio osmisliti kako što čvršće povezati 3 zavojnice da budu okomite jedna na drugu. Sav potreban materijal i komponente su dostupne na fakultetu, te je izrađen model u obliku kugle i uspješno su odrađena potrebna mjerenja.

Završni rad sastoji se od pet poglavlja: Uvod, Bežični prijenos energije, Izrada, Mjerenje i Zaključak. U Uvodu će biti ukratko predstavljen bežični prijenos energije i zadatak rada te će biti ukratko navedena struktura i sadržaj završnog rada. U drugom poglavlju pod nazivom Bežični prijenos energije bit će detaljnije objašnjen bežični prijenos energije i njegova primjena u 3D prijemnicima. U trećem poglavlju bit će opisana izrada 3D prijemnika i prikazan izrađeni 3D prijamnik. U četvrtom poglavlju bit će opisan postupak i prikazani rezultati mjerenja u tabličnom i grafičkom prikazu. Konačno, u Zaključku će biti povezane teoretske s praktičnim spoznajama.

## **1.1 Zadatak rada**

Zadatak završnog rada je analiza, izrada i testiranje različitih izvedbi 3D prijemika u sustavu bežičnog prijenosa energije. Kod 3D prijemnika, njegova prostorna orijentacija nema značajni utjecaj na performanse bežičnog prijenosa energije.

## 2. BEŽIČNI PRIJENOS ENERGIJE

Bežični prijenos energije temelji se na primjeni elektromagnetske indukcije. Otkriće elektromagnetske indukcije pripisuje se Michaelu Faradayu. Elektromagnetska indukcija je pojava nastanka elektromotorne sile u vodljivoj petlji koju obuhvaća promjenjivi magnetski tok.[1] Faradayev zakon indukcije je temeljni zakon elektromagnetizma koji predviđa kako će magnetsko polje utjecati na strujni krug da bi nastala elektromotorna sila (napon).

Elektromagnetska indukcija se može postići gibanjem metalnog štapa u vremenski konstantnom magnetskom polju.[1] Dakle, tanki metalni štap se giba konstantnom brzinom kroz prostor na koji djeluje homogeno i vremenski konstantno magnetsko polje indukcije  $B$ . Zbog gibanja djeluje magnetska sila koja slobodne elektrone pomakne na jedan dio štapa, tako da se na gornjem dijelu pojavi višak pozitivnog naboja. Skupljanje naboja na krajevima štapa će trajati dok prikupljeni naboj na krajevima štapa ne uspostavi elektrostatsko polje jednake vrijednosti tako da rezultirajuća sila bude jednaka nuli.

Također se elektromagnetska indukcija može postići gibanjem krute konture u nehomogenom vremenski konstantnom magnetskom polju.[1] Za primjer metalne konture uzima se vodljiva zatvorena kontura u kojoj nema izvora električne energije. Gibanjem takve konture u magnetskom polju u njoj se može inducirati elektromotorna sila uslijed čega će kroz nju poteći električna struja. Kontura je u odnosu na magnetsko polje postavljena po pravilu desnog vijka. U jednoj točki smjer obilaska se podudara sa smjerom brzine, a u drugoj točki su smjerovi suprotni pa se kontura može promatrati kao dva spojena štapa. Faraday je ukazao kako će se u zatvorenoj vodljivoj konturi inducirati elektromotorna sila ako se u njoj mijenja magnetski tok na bilo koji način.

### 2.1. 3D prijemnik

Većina sustava za bežični prijenos energije prenosi energiju na usmjeren način, tj. jednodimenzionalan,[2] ali u posljednje vrijeme trodimenzionalan bežični prijenos energije postaje sve više aktualan, te se spominje u sve više istraživanja. Sustavi bežičnog prijenosa energije koji koriste magnetske parice i rezonanciju su bili izučavani i korišteni u mnogo primjena koje sežu od bežičnog punjenja niskonaponskih uređaja (medicinski implantati, prijenosna elektronika) do srednje i visokonaponskih uređaja (pokretni roboti, električni automobili).[2] Prijenos energije u svim smjerovima (omni-direkcijski) koristi strukturu tri

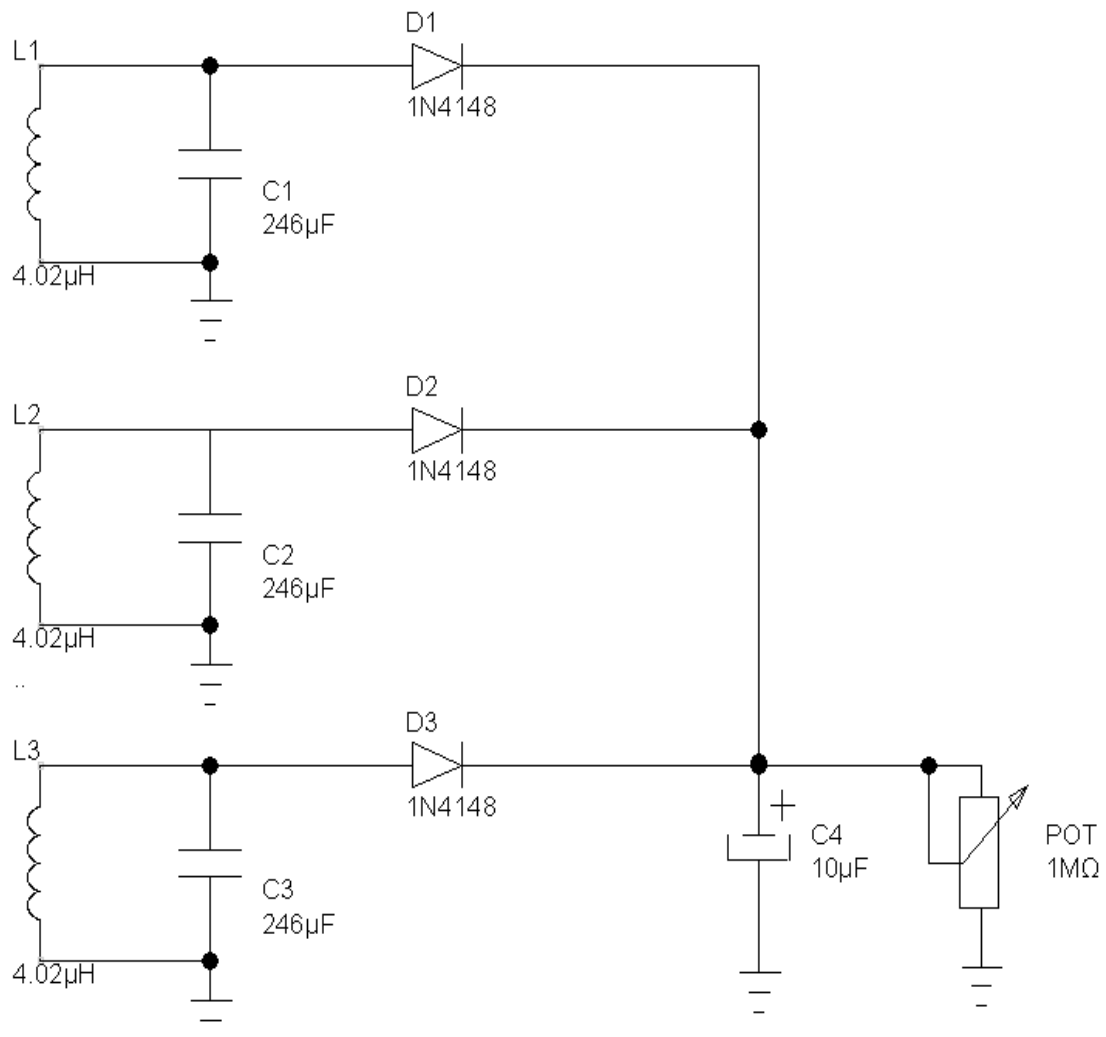


ortogonalne zavojnice kao prijemnik. Međutim, ne koristi se u mnogo modernih aplikacija kao što su mobiteli i RFID čipovi koji ipak zahtijevaju 2D (planarnu) prijemničku strukturu.[2]

Zato se smatra da magnetski tok treba biti kontroliran na način da tok ide u prijemničku zavojnicu što je više moguće. Jedna od metoda je kontrolna metoda vektora diskretnog magnetskog polja [2] koja uključuje mehanizam „praćenja“ koji detektira položaje za ispostavu energije u svim smjerovima i mehanizam „pucanja“ kako bi fokusirala magnetski tok u smjeru tereta. Ovaj pristup omogućava sustav prijenosa energije u svim smjerovima kako bi se energija prenosila na visoko učinkovit način.

### 3. IZRADA

Prema osmišljenoj shemi 3D prijemnika (Slika 3.1.), trebalo je odlučiti kako napraviti da zavojnice budu međusobno pod pravim kutom i kojeg će oblika biti. U ovom slučaju je odabran kružni oblik zavojnice, ali se mogu koristiti i trokutasti ili drugi pravokutni oblici ovisi o svrsi.



Slika 3.1.: Shema 3D prijemnika

Od raspoloživih materijala namotane su tri jednake zavojnice, te su posložene okomito jedna na drugu. Induktivitet je izračunat uz pomoć alata sa internet stranice <http://www.mogami.com/e/cad/coil-01.html>. Zavojnice su učvršćene pomoću trake za izoliranje kako bi se mjerenja mogla odraditi, a da pritom bude sve u jednakom položaju bez deformacija s obzirom na prvobitni oblik. Svaka od tri zavojnice paralelno je spojena sa kondenzatorom kako

bi kompenzirala rezonanciju u krugu na određenoj rezonancijskoj frekvenciji. Prema približno zadanoj frekvenciji od 160 kHz i izračunu induktiviteta je izračunata potrebna vrijednost kapaciteta pomoću formule i matematičkih operacija.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3-1)$$

Nakon kvadriranja relacija (3-1) dobije se:

$$f^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC} \quad (3-2)$$

Da bi se dobio kapacitet  $C$ , potrebno je relaciju (3-2) pomnožiti sa njenim nazivnikom i potom je potrebno odrediti inverz dobivene relacije nakon čega se dobije:

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

Gdje je  $C$  kapacitet kondenzatora,  $L$  induktivitet zavojnice, a  $f$  frekvencija na kojoj se želi postići rezonancija.

U relaciju (3-3) se uvrste zadane vrijednosti frekvencije i induktiviteta te se izračuna iznos kapaciteta koji je potreban kako bi se na zadanoj frekvenciji postigla rezonancija što je prikazano u relaciji (3-4). Relacija (3-5) prikazuje dobiveni iznos kapaciteta.

$$C = \frac{1}{4\pi^2 (160 \cdot 10^3)^2 \cdot 4.02 \cdot 10^{-6}} \quad (3-4)$$

$$C = 246.02 \text{ nF} \quad (3-5)$$

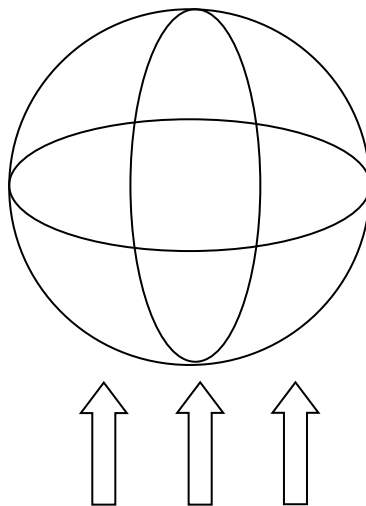
Nakon što je izračunat kapacitet, sljedeći korak je spajanje svih elemenata prema shemi, osim potenciometra kojega smo dodali pri mjerenju. Spajanje vršimo postupkom lemljenja, te je dizajniran zadani model 3D prijemnika (Slika 3.2.).



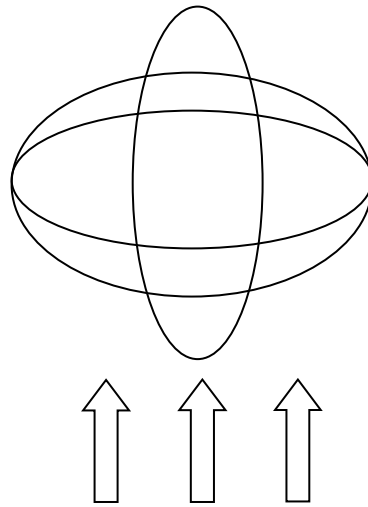
*Slika 3.2.: Model 3D prijemnika*

#### 4. MJERENJE

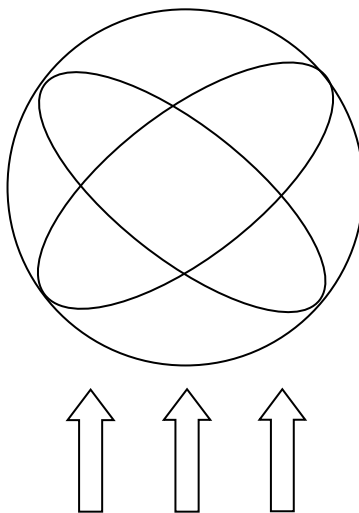
Nakon što je napravljen model 3D prijemnika odrađena su mjerenja. Generator signala je spojen na zavojnicu koja je služila kao izvor promjenjivog magnetskog polja. Multimetar je služio kao voltmetar koji je spojen na svaki kondenzator posebno ovisno o položaju prijemnika i zavojnici na kojoj mjerimo iznos napona. Na potenciometru se mijenjao iznos otpora od  $1\text{ M}\Omega$  prema  $10\ \Omega$  na određene vrijednosti pri čemu se zapisivala vrijednost napona ovisno o otporu. Mjerenje je izvedeno na tri načina kada magnetsko polje djeluje okomito na određenu zavojnicu, kada polje djeluje između dvije zavojnice i kada polje djeluje negdje između sve tri zavojnice. Rezultati mjerenja su prikazani u tablicama prema kojima su izrađeni grafovi koji se nalaze u nastavku.



*Slika 4.1.: Položaj prijemnika kad magnetsko polje djeluje okomito na zavojnicu*



*Slika 4.2.: Položaj prijemnika kad zavojnice dijele magnetsko polje*



*Slika 4.3.: Položaj prijemnika kad magnetsko polje djeluje na sve tri zavojnice*

Tablica 4.1.: Zavojnica 1 u položaju kad zavojnice dijele magnetsko polje

| U [V] | I [A]    | P [W]    | R [ $\Omega$ ] |
|-------|----------|----------|----------------|
| 0,09  | 9,00E-03 | 8,10E-04 | 10             |
| 0,17  | 7,73E-03 | 1,31E-03 | 22             |
| 0,33  | 5,89E-03 | 1,94E-03 | 56             |
| 0,45  | 4,50E-03 | 2,03E-03 | 100            |
| 0,62  | 2,82E-03 | 1,75E-03 | 220            |
| 0,86  | 1,54E-03 | 1,32E-03 | 560            |
| 0,99  | 9,90E-04 | 9,80E-04 | 1000           |
| 1,11  | 5,05E-04 | 5,61E-04 | 2200           |
| 1,2   | 2,14E-04 | 2,57E-04 | 5600           |
| 1,24  | 1,24E-04 | 1,54E-04 | 10000          |
| 1,29  | 5,86E-05 | 7,56E-05 | 22000          |
| 1,34  | 2,39E-05 | 3,20E-05 | 56000          |
| 1,37  | 1,37E-05 | 1,88E-05 | 100000         |
| 1,4   | 6,36E-06 | 8,90E-06 | 220000         |
| 1,44  | 2,57E-06 | 3,70E-06 | 560000         |
| 1,47  | 1,47E-06 | 2,16E-06 | 1000000        |

Tablica 4.2.: Zavojnica 2 u položaju kad zavojnice dijele magnetsko polje

| U [V] | I [A]    | P [W]    | R [ $\Omega$ ] |
|-------|----------|----------|----------------|
| 0,1   | 1,00E-02 | 1,00E-03 | 10             |
| 0,18  | 8,18E-03 | 1,47E-03 | 22             |
| 0,34  | 6,07E-03 | 2,06E-03 | 56             |
| 0,46  | 4,60E-03 | 2,12E-03 | 100            |
| 0,62  | 2,82E-03 | 1,75E-03 | 220            |
| 0,83  | 1,48E-03 | 1,23E-03 | 560            |
| 0,94  | 9,40E-04 | 8,84E-04 | 1000           |
| 1,09  | 4,95E-04 | 5,40E-04 | 2200           |
| 1,14  | 2,04E-04 | 2,33E-04 | 5600           |
| 1,18  | 1,18E-04 | 1,39E-04 | 10000          |
| 1,23  | 5,59E-05 | 6,88E-05 | 22000          |
| 1,28  | 2,29E-05 | 2,93E-05 | 56000          |
| 1,31  | 1,31E-05 | 1,72E-05 | 100000         |
| 1,34  | 6,09E-06 | 8,16E-06 | 220000         |
| 1,38  | 2,46E-06 | 3,39E-06 | 560000         |
| 1,4   | 1,40E-06 | 1,96E-06 | 1000000        |

Tablica 4.3.: Zavojnica 3 u položaju kad zavojnice dijele magnetsko polje

| U [V] | I [A]    | P [W]    | R [ $\Omega$ ] |
|-------|----------|----------|----------------|
| 0,07  | 7,00E-03 | 4,90E-04 | 10             |
| 0,13  | 5,91E-03 | 7,68E-04 | 22             |
| 0,28  | 5,00E-03 | 1,40E-03 | 56             |
| 0,41  | 4,10E-03 | 1,68E-03 | 100            |
| 0,6   | 2,73E-03 | 1,64E-03 | 220            |
| 0,8   | 1,43E-03 | 1,14E-03 | 560            |
| 0,89  | 8,90E-04 | 7,92E-04 | 1000           |
| 0,99  | 4,50E-04 | 4,46E-04 | 2200           |
| 1,07  | 1,91E-04 | 2,04E-04 | 5600           |
| 1,1   | 1,10E-04 | 1,21E-04 | 10000          |
| 1,15  | 5,23E-05 | 6,01E-05 | 22000          |
| 1,2   | 2,14E-05 | 2,57E-05 | 56000          |
| 1,22  | 1,22E-05 | 1,49E-05 | 100000         |
| 1,26  | 5,73E-06 | 7,22E-06 | 220000         |
| 1,3   | 2,32E-06 | 3,02E-06 | 560000         |
| 1,32  | 1,32E-06 | 1,74E-06 | 1000000        |

Tablica 4.4.: Zavojnica 1 u položaju kad zavojnice ne dijele magnetsko polje

| U [V] | I [A]    | P [W]    | R [ $\Omega$ ] |
|-------|----------|----------|----------------|
| 0,09  | 9,00E-03 | 8,10E-04 | 10             |
| 0,17  | 7,73E-03 | 1,31E-03 | 22             |
| 0,33  | 5,89E-03 | 1,94E-03 | 56             |
| 0,46  | 4,60E-03 | 2,12E-03 | 100            |
| 0,63  | 2,86E-03 | 1,80E-03 | 220            |
| 0,8   | 1,43E-03 | 1,14E-03 | 560            |
| 0,89  | 8,90E-04 | 7,92E-04 | 1000           |
| 0,97  | 4,41E-04 | 4,28E-04 | 2200           |
| 1,04  | 1,86E-04 | 1,93E-04 | 5600           |
| 1,08  | 1,08E-04 | 1,17E-04 | 10000          |
| 1,12  | 5,09E-05 | 5,70E-05 | 22000          |
| 1,17  | 2,09E-05 | 2,45E-05 | 56000          |
| 1,19  | 1,19E-05 | 1,42E-05 | 100000         |
| 1,23  | 5,59E-06 | 6,88E-06 | 220000         |
| 1,27  | 2,27E-06 | 2,88E-06 | 560000         |
| 1,29  | 1,29E-06 | 1,66E-06 | 1000000        |



Tablica 4.5.: Zavojnica 2 u položaju kad zavojnice ne dijele magnetsko polje

| U [V] | I [A]    | P [W]    | R [ $\Omega$ ] |
|-------|----------|----------|----------------|
| 0,07  | 7,00E-03 | 4,90E-04 | 10             |
| 0,16  | 7,27E-03 | 1,16E-03 | 22             |
| 0,25  | 4,46E-03 | 1,12E-03 | 56             |
| 0,37  | 3,70E-03 | 1,37E-03 | 100            |
| 0,56  | 2,55E-03 | 1,43E-03 | 220            |
| 0,79  | 1,41E-03 | 1,11E-03 | 560            |
| 0,9   | 9,00E-04 | 8,10E-04 | 1000           |
| 1,02  | 4,64E-04 | 4,73E-04 | 2200           |
| 1,11  | 1,98E-04 | 2,20E-04 | 5600           |
| 1,16  | 1,16E-04 | 1,35E-04 | 10000          |
| 1,2   | 5,45E-05 | 6,54E-05 | 22000          |
| 1,25  | 2,23E-05 | 2,79E-05 | 56000          |
| 1,27  | 1,27E-05 | 1,61E-05 | 100000         |
| 1,31  | 5,96E-06 | 7,81E-06 | 220000         |
| 1,35  | 2,41E-06 | 3,25E-06 | 560000         |
| 1,37  | 1,37E-06 | 1,88E-06 | 1000000        |

Tablica 4.6.: Zavojnica 3 u položaju kad zavojnice ne dijele magnetsko polje

| U [V] | I [A]    | P [W]    | R [ $\Omega$ ] |
|-------|----------|----------|----------------|
| 0,06  | 6,00E-03 | 3,60E-04 | 10             |
| 0,11  | 5,00E-03 | 5,50E-04 | 22             |
| 0,19  | 3,39E-03 | 6,44E-04 | 56             |
| 0,27  | 2,70E-03 | 7,29E-04 | 100            |
| 0,39  | 1,77E-03 | 6,90E-04 | 220            |
| 0,55  | 9,82E-04 | 5,40E-04 | 560            |
| 0,63  | 6,30E-04 | 3,97E-04 | 1000           |
| 0,73  | 3,32E-04 | 2,42E-04 | 2200           |
| 0,8   | 1,43E-04 | 1,14E-04 | 5600           |
| 0,84  | 8,40E-05 | 7,06E-05 | 10000          |
| 0,88  | 4,00E-05 | 3,52E-05 | 22000          |
| 0,92  | 1,64E-05 | 1,51E-05 | 56000          |
| 0,95  | 9,50E-06 | 9,03E-06 | 100000         |
| 0,98  | 4,45E-06 | 4,36E-06 | 220000         |
| 1,02  | 1,82E-06 | 1,86E-06 | 560000         |
| 1,05  | 1,05E-06 | 1,10E-06 | 1000000        |

Tablica 4.7.: Zavojnica 1 kad je u položaju okomito na magnetsko polje

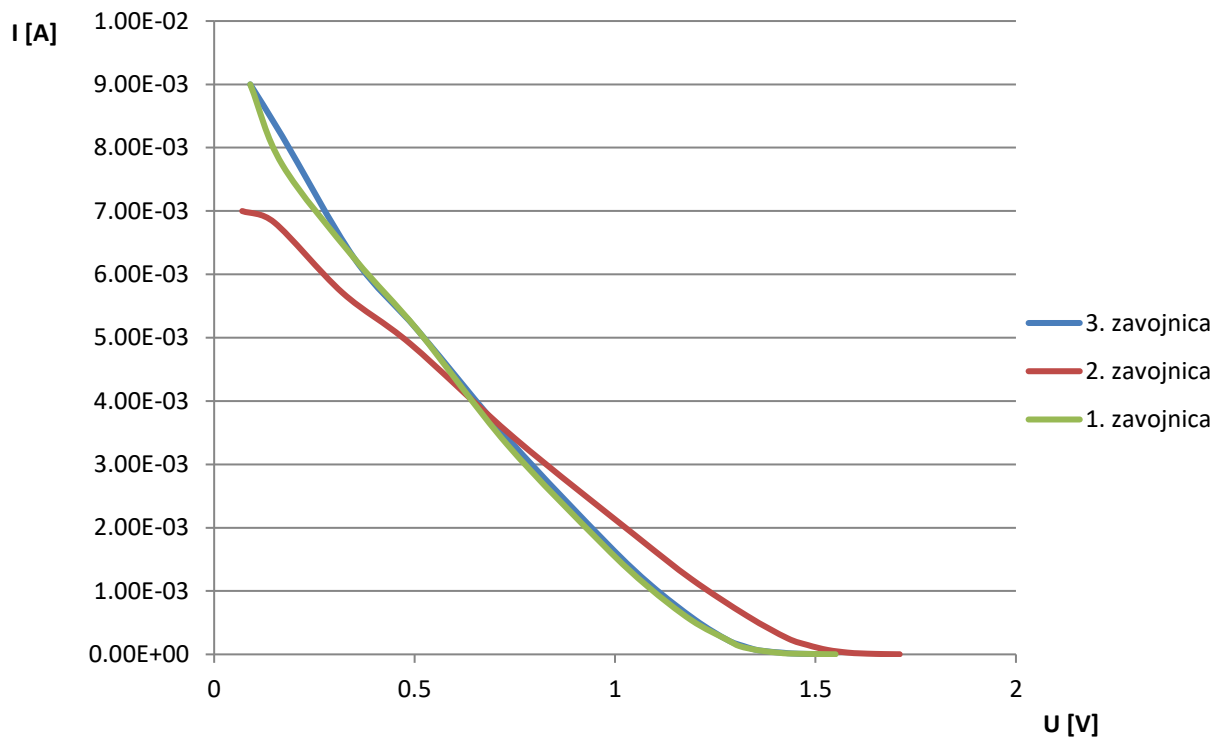
| U [V] | I [A]    | P [W]    | R [ $\Omega$ ] |
|-------|----------|----------|----------------|
| 0,09  | 9,00E-03 | 8,10E-04 | 10             |
| 0,17  | 7,73E-03 | 1,31E-03 | 22             |
| 0,35  | 6,25E-03 | 2,19E-03 | 56             |
| 0,51  | 5,10E-03 | 2,60E-03 | 100            |
| 0,73  | 3,32E-03 | 2,42E-03 | 220            |
| 0,97  | 1,73E-03 | 1,68E-03 | 560            |
| 1,08  | 1,08E-03 | 1,17E-03 | 1000           |
| 1,19  | 5,41E-04 | 6,44E-04 | 2200           |
| 1,28  | 2,29E-04 | 2,93E-04 | 5600           |
| 1,31  | 1,31E-04 | 1,72E-04 | 10000          |
| 1,36  | 6,18E-05 | 8,40E-05 | 22000          |
| 1,41  | 2,52E-05 | 3,55E-05 | 56000          |
| 1,43  | 1,43E-05 | 2,04E-05 | 100000         |
| 1,49  | 6,77E-06 | 1,01E-05 | 220000         |
| 1,53  | 2,73E-06 | 4,18E-06 | 560000         |
| 1,55  | 1,55E-06 | 2,40E-06 | 1000000        |

Tablica 4.8.: Zavojnica 2 kad je u položaju okomito na magnetsko polje

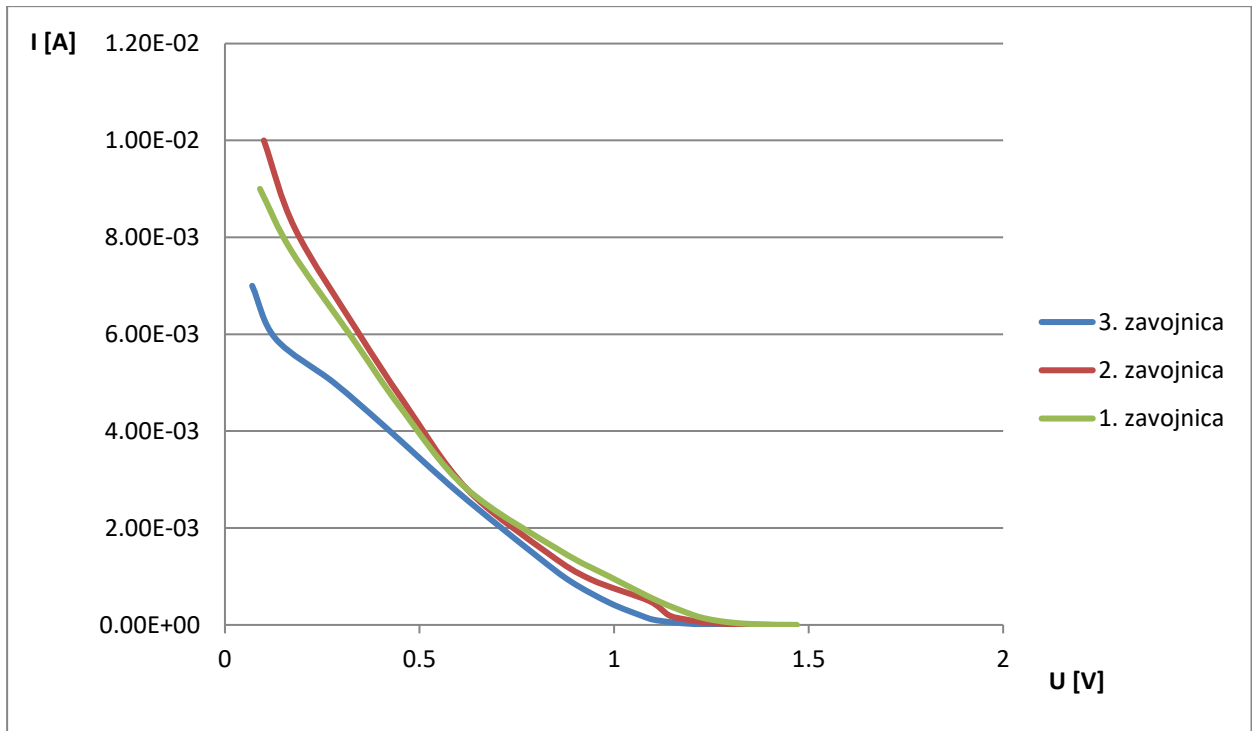
| U [V] | I [A]    | P [W]    | R [ $\Omega$ ] |
|-------|----------|----------|----------------|
| 0,07  | 7,00E-03 | 4,90E-04 | 10             |
| 0,15  | 6,82E-03 | 1,02E-03 | 22             |
| 0,32  | 5,71E-03 | 1,83E-03 | 56             |
| 0,49  | 4,90E-03 | 2,40E-03 | 100            |
| 0,75  | 3,41E-03 | 2,56E-03 | 220            |
| 1,05  | 1,88E-03 | 1,97E-03 | 560            |
| 1,19  | 1,19E-03 | 1,42E-03 | 1000           |
| 1,33  | 6,05E-04 | 8,05E-04 | 2200           |
| 1,43  | 2,55E-04 | 3,65E-04 | 5600           |
| 1,48  | 1,48E-04 | 2,19E-04 | 10000          |
| 1,53  | 6,95E-05 | 1,06E-04 | 22000          |
| 1,58  | 2,82E-05 | 4,46E-05 | 56000          |
| 1,61  | 1,61E-05 | 2,59E-05 | 100000         |
| 1,65  | 7,50E-06 | 1,24E-05 | 220000         |
| 1,69  | 3,02E-06 | 5,10E-06 | 560000         |
| 1,71  | 1,71E-06 | 2,92E-06 | 1000000        |

Tablica 4.9.: Zavojnica 3 kad je u položaju okomito na magnetsko polje

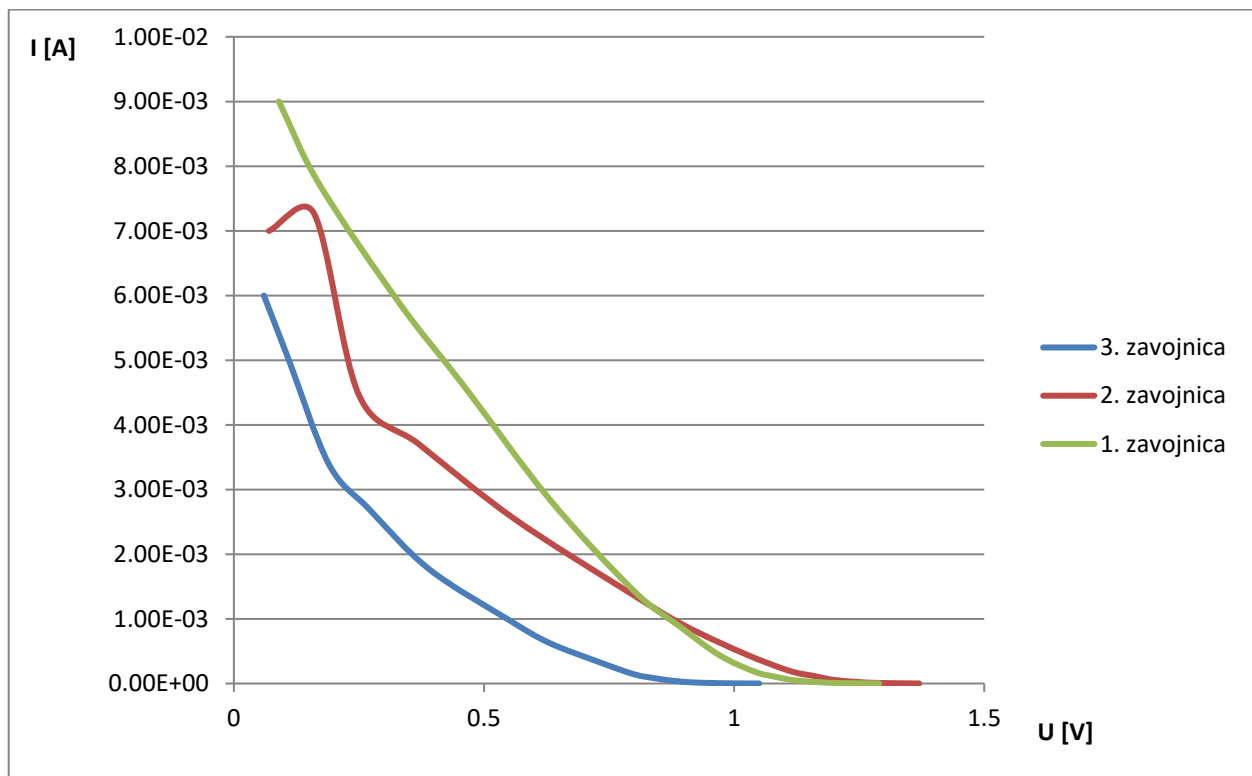
| U [V] | I [A]    | P [W]    | R [ $\Omega$ ] |
|-------|----------|----------|----------------|
| 0,09  | 9,00E-03 | 8,10E-04 | 10             |
| 0,17  | 8,18E-03 | 1,39E-03 | 22             |
| 0,35  | 6,25E-03 | 2,19E-03 | 56             |
| 0,51  | 5,10E-03 | 2,60E-03 | 100            |
| 0,74  | 3,36E-03 | 2,49E-03 | 220            |
| 0,98  | 1,75E-03 | 1,72E-03 | 560            |
| 1,09  | 1,09E-03 | 1,19E-03 | 1000           |
| 1,2   | 5,45E-04 | 6,54E-04 | 2200           |
| 1,28  | 2,29E-04 | 2,93E-04 | 5600           |
| 1,32  | 1,32E-04 | 1,74E-04 | 10000          |
| 1,36  | 6,23E-05 | 8,47E-05 | 22000          |
| 1,42  | 2,54E-05 | 3,61E-05 | 56000          |
| 1,44  | 1,44E-05 | 2,07E-05 | 100000         |
| 1,48  | 6,73E-06 | 9,96E-06 | 220000         |
| 1,52  | 2,71E-06 | 4,12E-06 | 560000         |
| 1,54  | 1,54E-06 | 2,37E-06 | 1000000        |



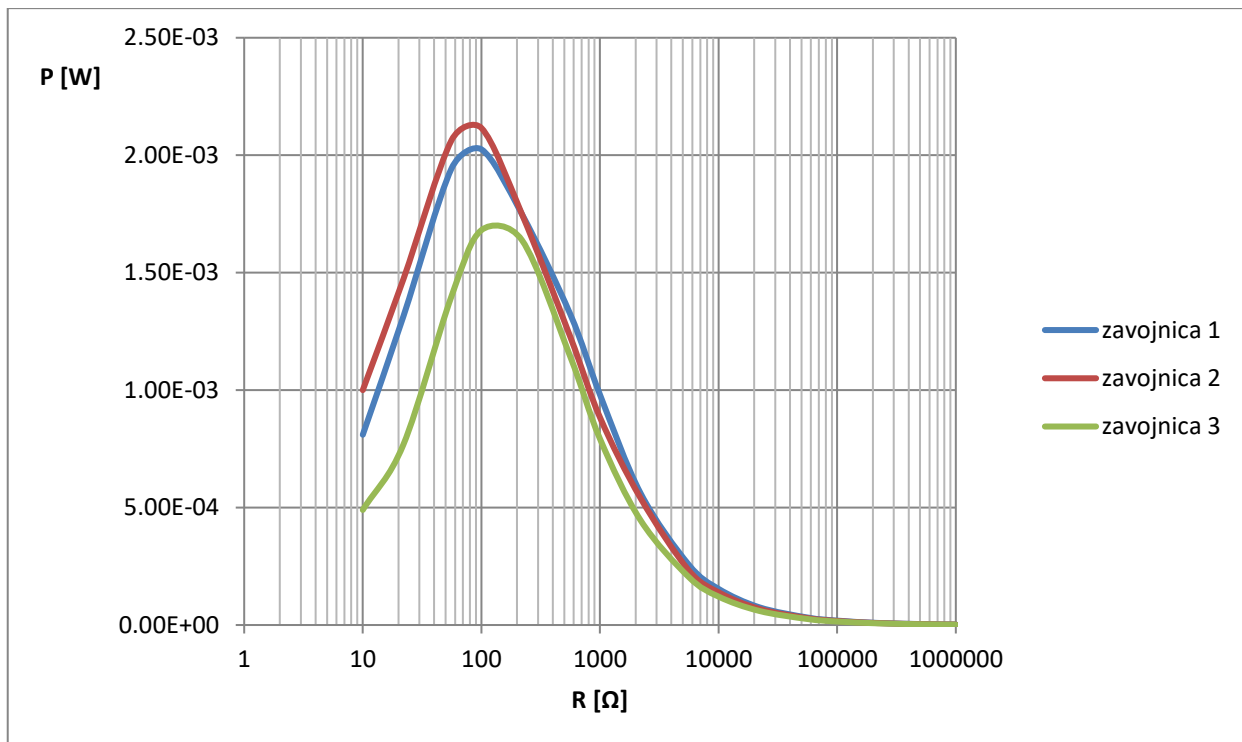
Slika 4.4.: U-I graf kad je zavojnica 1 okomita na magnetsko polje



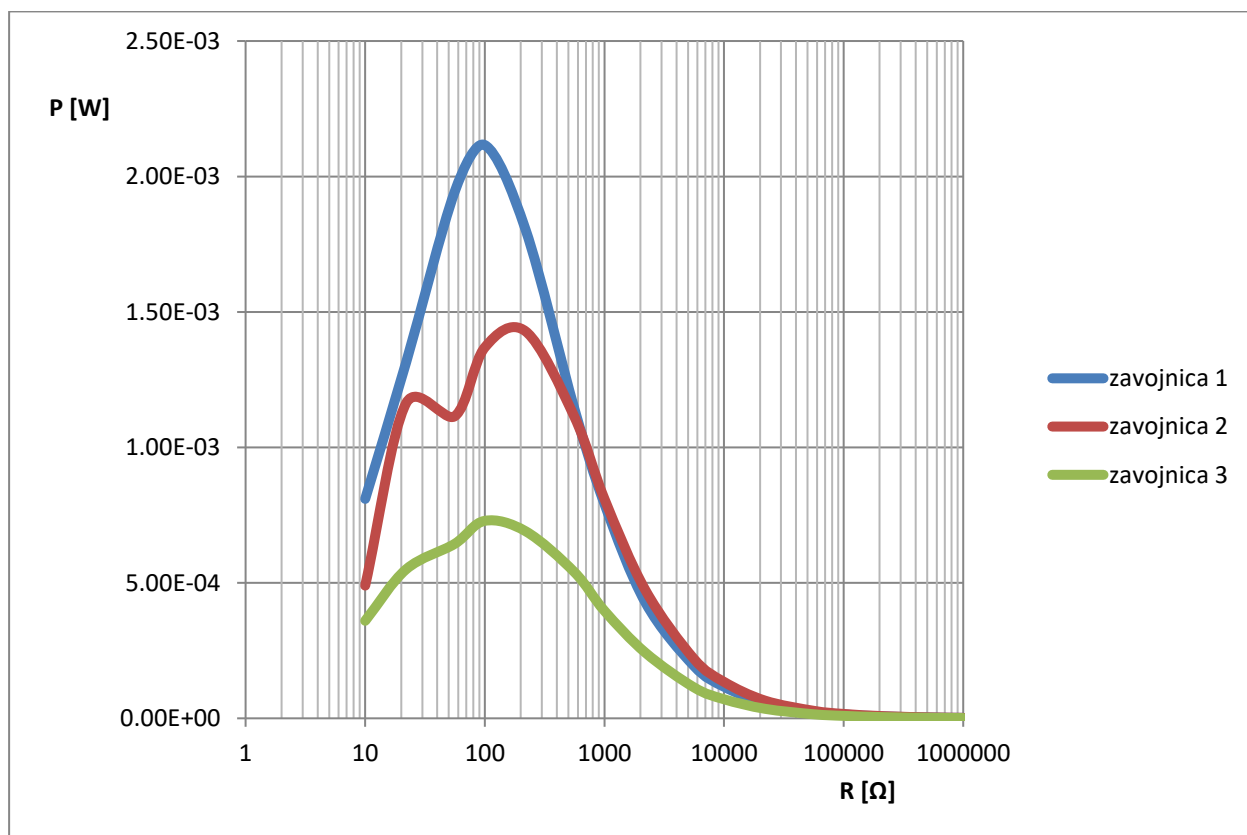
Slika 4.5.: U-I graf kad su zavojnice u položaju u kojem zavojnice dijele magnetsko polje



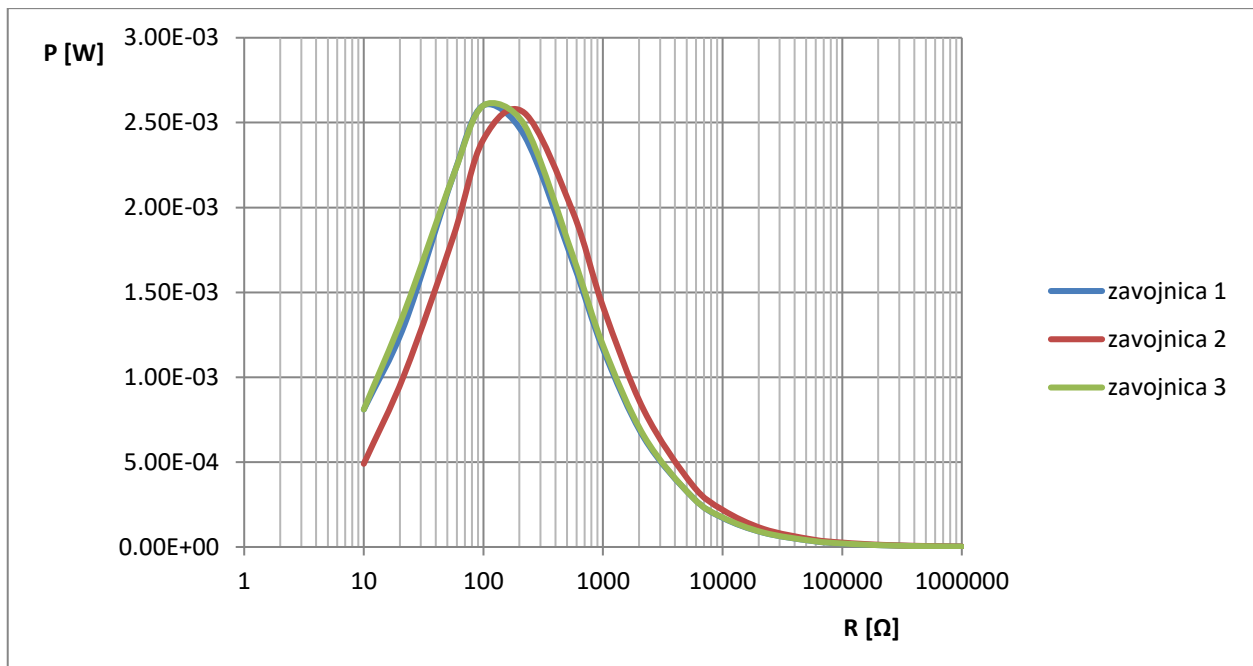
Slika 4.6.: U-I graf kad su zavojnice u položaju kad magnetsko polje djeluje na sve tri zavojnice



Slika 4.7.: R-P graf kad su zavojnice u položaju u kojem zavojnice dijele magnetsko polje

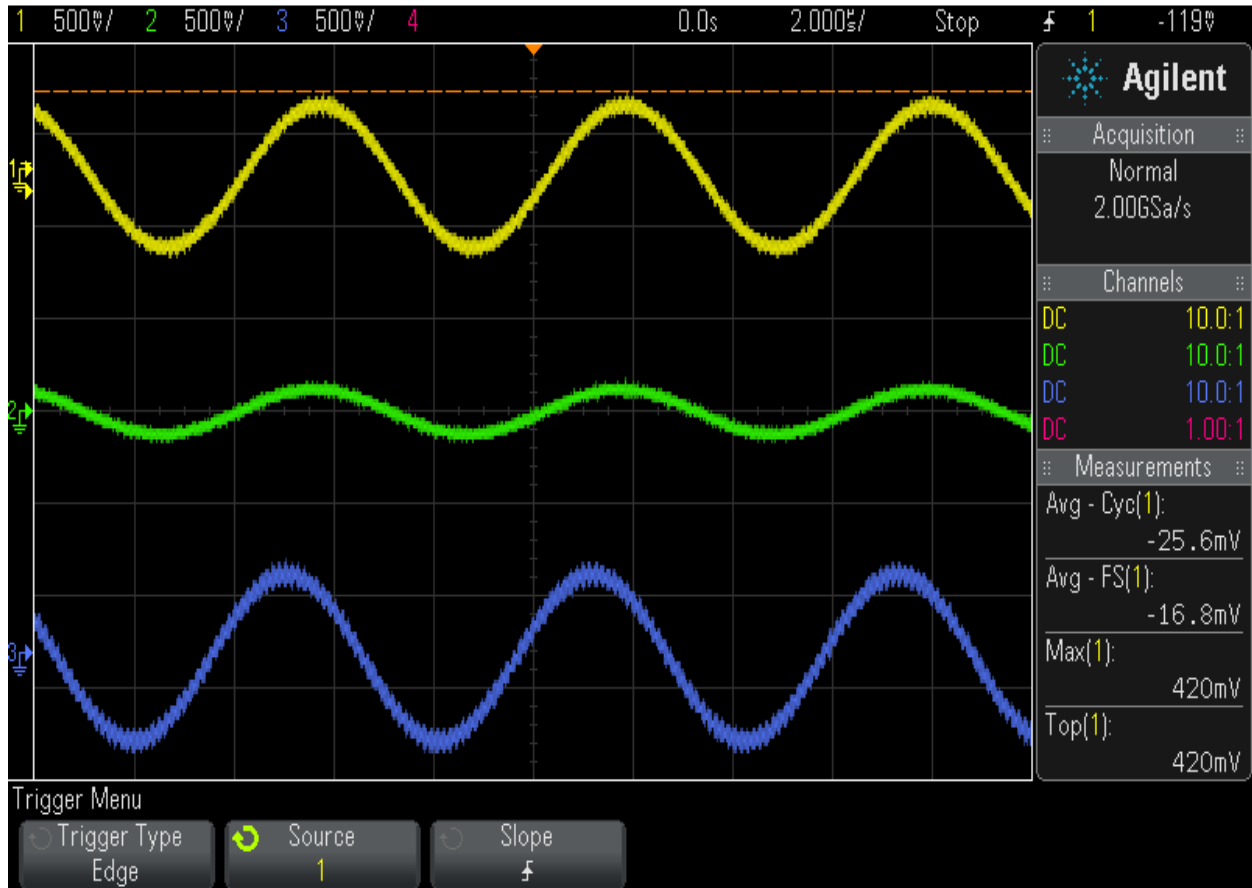


Slika 4.8.: R-P graf kad su zavojnice u položaju kad magnetsko polje djeluje na sve tri zavojnice



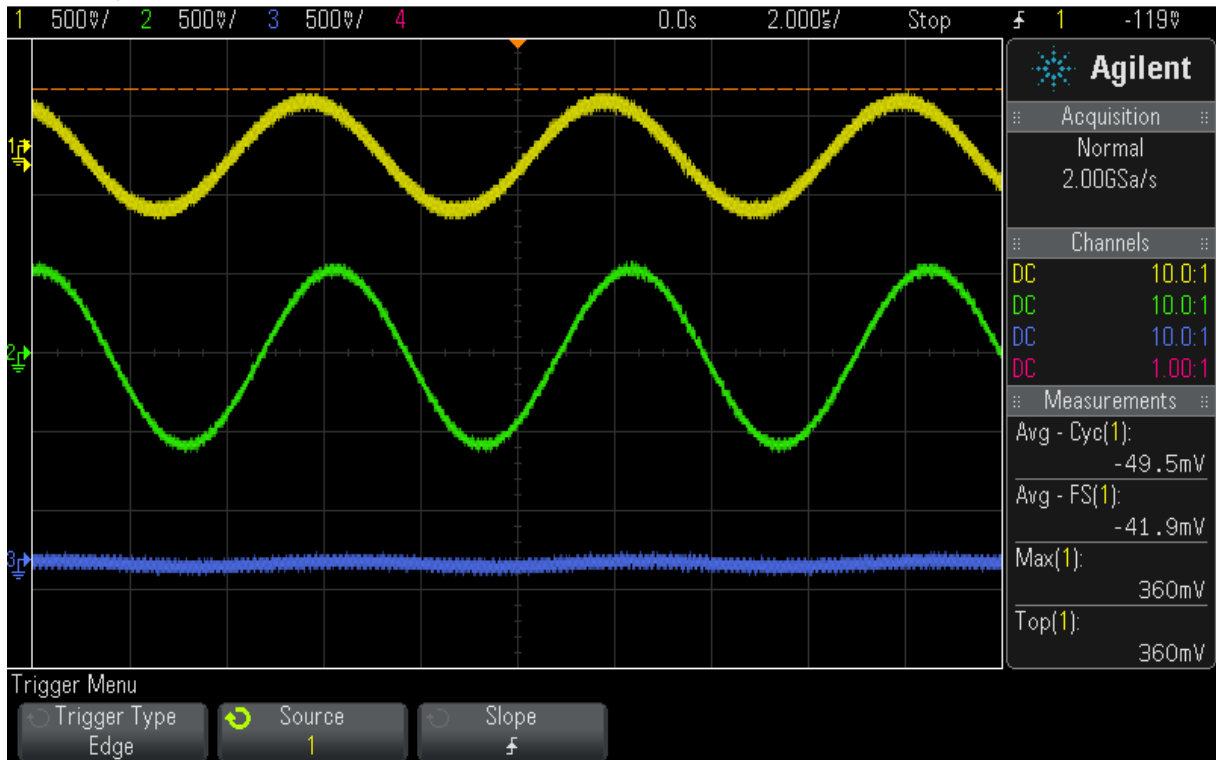
*Slike 4.9.: R-P graf kad su zavojnice okomite na magnetsko polje*

U nastavku će biti prikazani valni oblici napona za pojedine zavojnice i u različitim položajima u odnosu na djelovanje promjenjivog magnetskog polja. Valni oblici su prikazani pomoću osciloskopa sa tri kanala. Na svaki od kondenzatora je spojena sonda osciloskopa i masa osciloskopa je spojena na masu prijemnika. Dobiveni valni oblici prikazani su na sljedećim slikama.



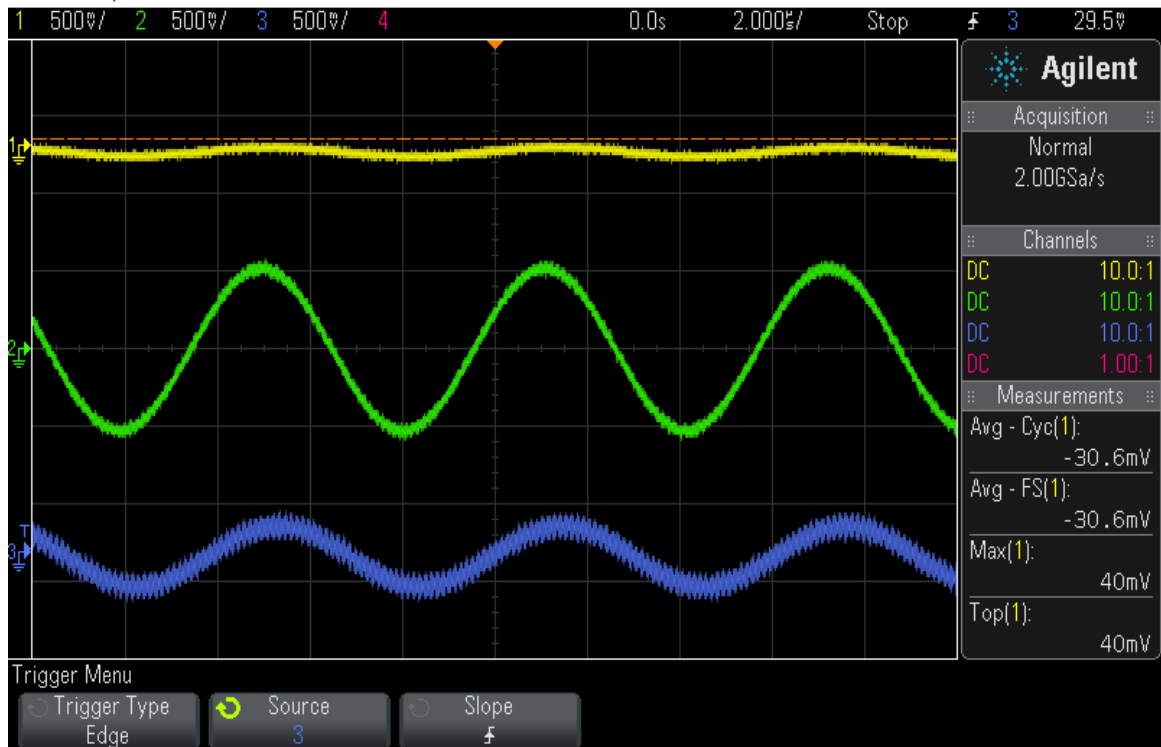
*Slika 4.10.: Valni oblici napona zavojnica u položaju kada 1. i 3. zavojnica dijele magnetsko polje*

DSO-X 3024A, MY52492259: Mon Jun 20 09:45:01 2016



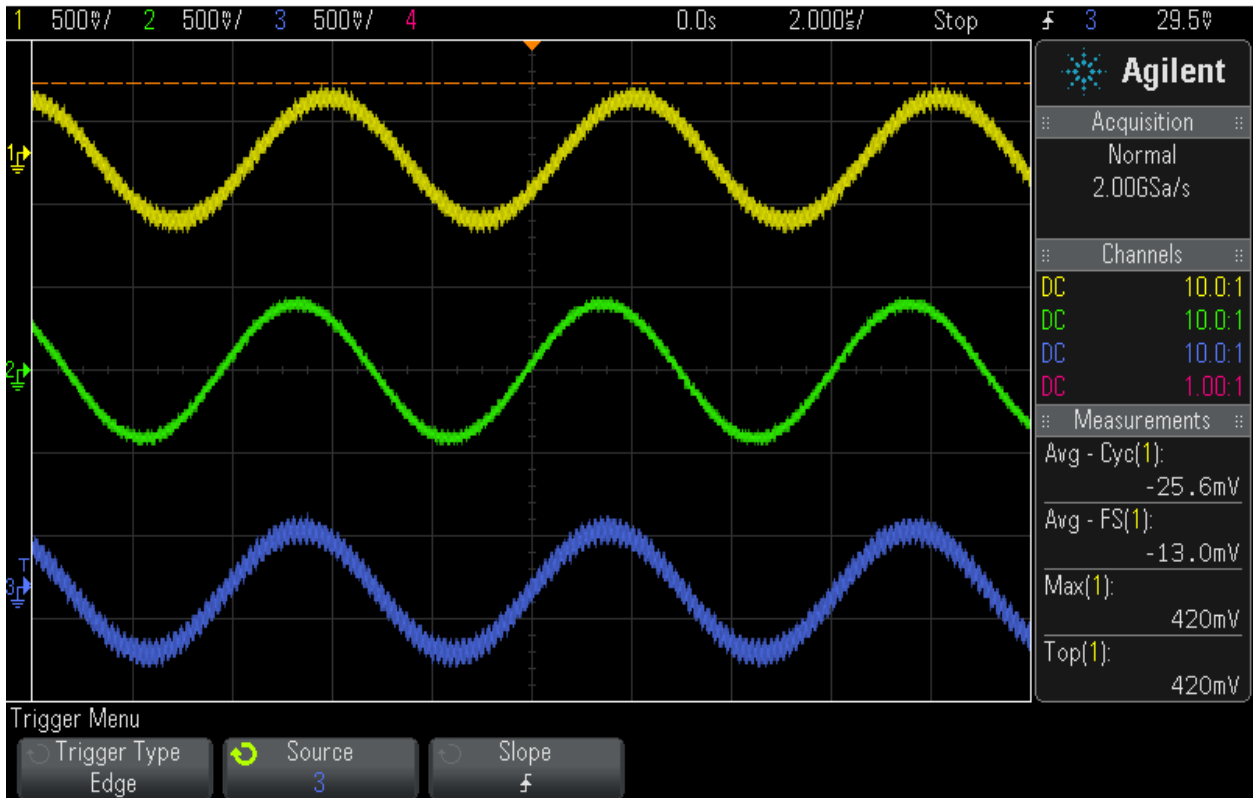
Slika 4.11.: Valni oblici napona zavojnica u položaju kada 1. i 2. zavojnica dijele magnetsko polje

DSO-X 3024A, MY52492259: Mon Jun 20 09:46:09 2016



Slika 4.12.: Valni oblici napona zavojnica u položaju kada 2. i 3. zavojnica dijele magnetsko polje





*Slika 4.13.: Valni oblici napona zavojnica u položaju kada magnetsko polje djeluje na sve tri zavojnice*

## 5. ZAKLJUČAK

Elektromagnetska indukcija temelj je razvoja 3D prijemnika. Elektromagnetska indukcija označava pojavu elektromotorne sile na petlji koja se nalazi unutar magnetskog polja. Najčešće se koristi usmjeren način rada (jednodimenzionalan), ali u posljednje vrijeme sve više na značaju dobiva trodimenzionalan način.

Kod izrade 3D prijemnika nastoji se postići kontrola magnetskog polja kako bi se energija prenosila na što učinkovitiji način. Moguće je izraditi 3D prijemnik u obliku kugle, trokuta ili bilo kojeg pravokutnog oblika, ovisno o svrsi. Za potrebe ovog rada dizajniran je i izrađen 3D prijemnik oblika kugle te su provedena potrebna mjerenja. Mjerenja su pokazala rezultate u skladu sa očekivanima, to jest da je dobiveni napon veći što je veći kut kojeg zatvaraju silnice magnetskog polja sa određenom zavojnicom, pri čemu je najveći mogući kut  $90^\circ$ .

Bežični prijenos energije i 3D prijemnici se koriste na polju medicine i robotike, a u budućnosti se očekuje njihov daljnji razvoj kako bi ta tehnologija bila dostupna što većem broju korisnika.

## **LITERATURA**

[1] B. Kuzmanović: „OSNOVE ELEKTROTEHNIKE 1“, Zagreb, 2000.

[2] Omni-Directional Wireless Power Transfer Systems using Discrete Magnetic Field Vector Control, Cheng Zhang , Deyan Lin, S. Y.(Ron) Hui

## SAŽETAK

Cilj ovog rada je dizajnirati 3D prijemnik u sustavu bežičnog prijenosa energije na kojem je potrebno napraviti mjerenja dok je pod utjecajem promjenjivog magnetskog polja. 3D prijemnik radi na principu elektromagnetske indukcije, a izrađen od bakrene žice raspoređene tako da budu pod pravim kutom u odnosu jedna na drugu dok su ostali elementi prema shemi spojeni na krajeve zavojnica. Mjerenjem se utvrdilo da napon induciran na zavojnicama ovisi o položaju 3D prijemnika u magnetskom polju. Što je zavojnica više okomita na silnice magnetskog polja to se veći napon inducira na njoj. Mjerenja su pokazala da su rezultati u skladu sa očekivanim grafovima i valnim oblicima napona.

**Ključne riječi:** 3D prijemnik, bežični prijenos energije, elektromagnetska indukcija

## ABSTRACT

The goal of this paper was to design a 3D receiver in the system of wireless energy transfer on which measurements were made while it was under the influence of an alternating magnetic field. The 3D receiver works on the principle of electromagnetic induction, and it is made of copper wire arranged so that they are positioned under a right angle to each other while the other elements on the schematic are connected to the ends of the coils. The measurements determined that the voltage induced in the coils depends on the position of the 3D receiver in the magnetic field. If the coil is more perpendicular to the magnetic field lines the induced voltage is higher. The measurements have shown that the results correspond to the expected diagrams and voltage waveforms.

**Key words:** 3D receiver, wireless energy transfer, electromagnetic induction

## **ŽIVOTOPIS**

Ivan Vinković rođen je 10.08.1994. godine u Slavonskom Brodu. U Županji završava Osnovnu školu Ivana Kozarca, nakon čega upisuje Srednju tehničku školu u Županji, smjer „Elektrotehničar“. Završetkom srednjoškolskog obrazovanja upisuje preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku, a nakon prve godine opredjeljuje se za smjer „Komunikacije i informatika“.

U Osijeku, lipanj 2016.

Ivan Vinković

---

(Vlastoručni potpis)