

Snimanje valnih oblika struje i napona zavojnice s pomoću osciloskopa

Jurak, Dominik

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

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:200:572744>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-06**

Repository / Repozitorij:

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



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

Sveučilišni studij

**Snimanje valnih oblika struje i napona zavojnice s pomoću
osciloskopa**

Završni rad

Dominik Jurak

Osijek, 2018.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Osijek, 20.09.2018.

Odboru za završne i diplomske ispite

Prijedlog ocjene završnog rada

Ime i prezime studenta:	Dominik Jurak
Studij, smjer:	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. studenta, godina upisa:	3916, 24.09.2017.
OIB studenta:	39898164558
Mentor:	Izv.prof.dr.sc. Kruno Miličević
Sumentor:	Ivan Biondić
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Snimanje valnih oblika struje i napona zavojnice s pomoću osciloskopa
Znanstvena grana rada:	Elektrostrojarstvo (zn. polje elektrotehnika)
Predložena ocjena završnog rada:	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	20.09.2018.
Datum potvrde ocjene Odbora:	
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 21.09.2018.

Ime i prezime studenta:

Dominik Jurak

Studij:

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

Mat. br. studenta, godina upisa:

3916, 24.09.2017.

Ephorus podudaranje [%]:

4

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Snimanje valnih oblika struje i napona zavojnice s pomoću osciloskopa**

izrađen pod vodstvom mentora Izv.prof.dr.sc. Kruno Miličević

i sumentora Ivan Biondić

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 završnog rada	1
2. MJERNI INSTRUMENTI	2
2.1. Funkcijski generator ET System EAC	2
2.2. Tektronix TDS 224 osciloskop	3
2.3. Strujna kliješta E3N	4
2.4. Naponska sonda P2221	6
3. OSNOVE MAGNETIZMA	8
3.1. Magnetsko polje	8
3.2. Transformator	10
3.3. Magnetska jezgra	11
3.4. Vrste jezgri	13
3.4.1. Torusna jezgra	13
4. MJERENJA U LABORATORIJU	15
4.1. Mjerenja za torusnu jezgru	16
4.1.1. Mjerenja za sinusni valni oblik pri frekvenciji 50Hz	16
4.1.2. Mjerenja za pravokutni valni oblik pri frekvenciji 50Hz	18
4.1.3. Mjerenja za trokutasti valni oblik pri frekvenciji 50Hz	20
4.1.4. Mjerenja za sinusni valni oblik pri frekvenciji 400Hz	22
4.1.5. Mjerenja za pravokutni valni oblik pri frekvenciji 400Hz	24
4.1.6. Mjerenja za trokutasti valni oblik pri frekvenciji 400Hz	26
4.1.7. Komentari na mjerenja	28
4.2. Mjerenja za feritnu jezgru	29
4.2.1. Mjerenja za sinusni valni oblik pri frekvenciji 50Hz	29
4.2.2. Mjerenja za pravokutni valni oblik pri frekvenciji 50Hz	31
4.2.3. Mjerenja za trokutasti valni oblik pri frekvenciji 50Hz	33

4.2.4. Mjerenja za sinusni valni oblik pri frekvenciji 400Hz.....	35
4.2.5. Mjerenja za pravokutni valni oblik pri frekvenciji 400Hz.....	37
4.2.6. Mjerenja za trokutasti valni oblik pri frekvenciji 400Hz.....	39
4.2.7. Komentari na mjerenja.....	40
5. ZAKLJUČAK.....	41
Literatura:	42
Popis slika:	42
Popis tablica	45
Sažetak	46
Životopis.....	47

1. UVOD

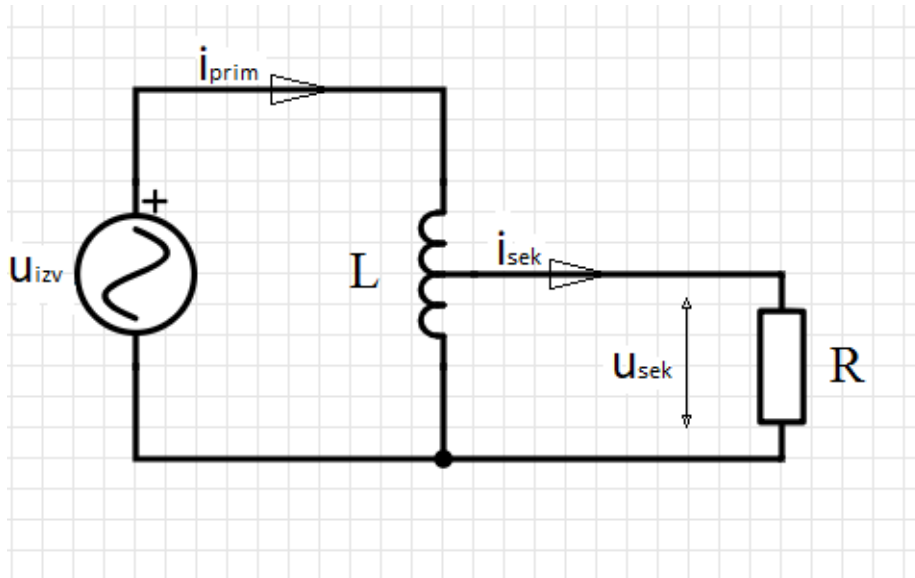
Tema ovog završnog rada je snimanje valnih oblika struje i napona zavojnice s pomoću osciloskopa. U prvom dijelu rada upozna se sa strujnim krugom te mjernim instrumentima korištenima u krugu za snimanje valnih oblika struje i napona zavojnice. U nastavku rada se opisuju detaljnije vrste jezgri korištene za mjerenje. Zatim se prikazuju mjerenja dobivena snimanjem valnih oblika struje i napona zavojnice. Mjerenje će biti rađeno za sinusni, trokutasti i pravokutni valni oblik za karakteristične frekvencije. Koristiti će se različite geometrije jezgri kao i različiti materijali od kojih su jezgre izgrađene.

1.1. Zadatak završnog rada

Snimanje valnih oblika s pomoću Matlaba. Snimanje valnih oblika struja i napona zavojnice. Mjerenje struje različitim načinima, pad napona na otporniku, Hallova sonda. Potrebno koristiti različite geometrije jezgri (ogrnuti jezgra, torusna jezgra) i materijale jezgri (trafo limovi i feritne)

2. MJERNI INSTRUMENTI

Na slici 2.1. vidi se shema spoja korištenog za snimanje valnih oblika struje i napona zavojnice.



Slika 2.1. Shema spoja

Izvor je funkcijski generator ET System EAC, trošilo je žarulja snage 150W. Korišten je osciloskop Tektronix TDS 224 na koji su spojena strujna kliješta E3N raspona 100mV/A i naponske sonde P2221 prigušenja 10x korištena za mjerenje struje i napona primara i sekundara.

2.1. Funkcijski generator ET System EAC

Na slici 2.2. prikazan je funkcijski generator korišten u radu.



Slika 2.2. Funkcijski generator ET System EAC[1]

- **Osjetljivost (sa kalibriranim finim podešavanjem)** - 2 mV do 5 V/div (propusnost ograničena na 20 MHz pri 2 mV/div i 5 mV/div, u svim načinima rada, i 20 MHz pri 10 mV/div u načinu rada Detektiranje Vršne Vrijednosti)
- **Vertikalni Zoom**– Vertikalno proširiti ili sažeti valni oblik
- **Vertikalna Razlučivost** - 8-bitna (256 razina iznad 10.24 vertikalnih divizija)
- **Automatsko Mjerenje** - Period, frekvencija, ciklus RMS, srednja vrijednost, vrh-do-vrha
- **Načini Akvizicije** - Uzorak, Prosjek, Detektiranje Vršne Vrijednosti (Snimanje visokofrekventnih i slučajnih nepravilnosti; hvata propuste usko poput 10 ns pomoću hardvera za snimanje u svim vremenskim/div postavkama između 5 μ s/div i 5 s/div)
- **Horizontalni Zoom**– Horizontalno proširiti ili sažeti valni oblik
- **Vrijeme/Podjeljak Raspon**– od 5ns do 5 s/div
- **Dužina snimanja** - 2,500 točaka uzorkovanja po kanalu
- **Autoset** - Automatsko postavljanje jednim gumbom na odabranom ulaznom signalu za vertikalne, horizontalne i okidne sustave
- **Sučelje** - Centronics, RS-232, GPIB

2.3. Strujna kliješta E3N

Na slici 2.4. prikazana su strujna kliješta korištena u radu.



Slika 2.4. Strujna kliješta E3N[3]

Specifikacije strujnih kliješta mogu se pronaći u [3]. U nastavku su navedene najznačajnije:

• **Prekidač** - 3 položaja:

- OFF: stezaljka nije uključena.
- 10mV/A raspon: mjerenje vršne istosmjerne ili izmjenične strujena temelju 10mV po Amperu.
- 100mV/A raspon: mjerenje vršne istosmjerne ili izmjenične struje na temelju 100mV po Amperu. Ovaj raspon povećava osjetljivost stezaljke i smanjuje područje mjerenja.

• **Podešavanje nulte razine** - Pomični kotačić može se koristiti za podešavanje izlaznog napona na nulu. To omogućava nadoknadu raznih pogrešaka zbog toplinskog pomaka, Zemljinog magnetskog polja, okoliša i remanencije.

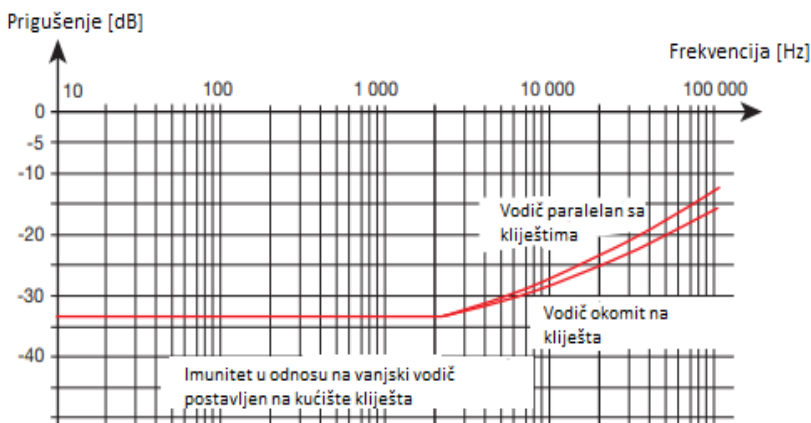
• **Pokazivač prekoračenog područja** - Ovaj indikator, označen simbolom **OL**, svijetli crveno kada signal koji se mjeri prekoračuje mjerni domet. Može također ukazati na prisutnost impulsa koja premašuje mjerne mogućnosti kliješta ili ukazuje na to da mjerenje nije valjano.

Električne karakteristike strujnih kliješta mogu se pronaći u [3]. U nastavku je navedena tablica 2.1. u kojoj su prikazane električne karakteristike strujnih kliješta.

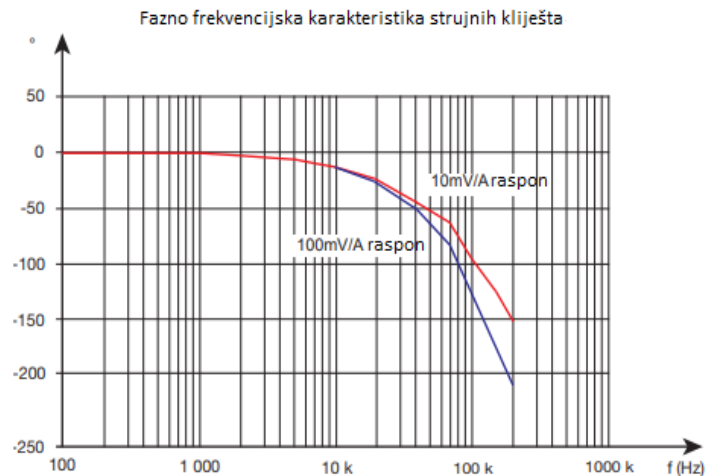
Tablica 2.1. Električne karakteristike[3]

Raspon	Mjerni raspon	Mjerna nesigurnost
100mV/A raspon	50mA do 10A vršna vrijednost	3% +50mA
10mV/A raspon	50mA do 40A vršna vrijednost	4% +50mA

Na slici 2.5. prikazana je amplitudno-frekvencijska karakteristika strujnih kliješta, a na slici 2.6. prikazana je fazno-frekvencijska karakteristika strujnih kliješta.



Slika 2.5. Amplitudno-frekvencijska karakteristika[3]



Slika 2.6. Fazno-frekvencijska karakteristika[3]

2.4. Naponska sonda P2221

Na slici 2.7. prikazana je naponska sonda korištena u radu.



Slika 2.7. Naponska sonda P2221[4]

Specifikacije naponske sonde mogu se pronaći u [4]. U nastavku je navedena tablica 2.2. u kojoj su prikazane specifikacije naponske sonde.

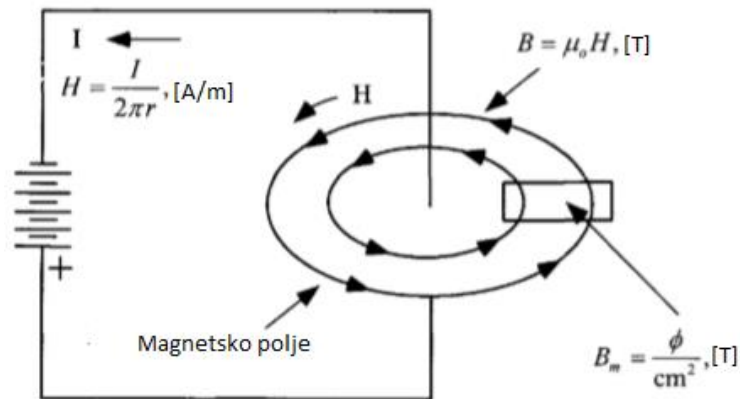
Tablica 2.2. Specifikacije[4]

Prigušenje	10x	1x
Propusnost	DC do 200MHz	DC do 6MHz
Omjer prigušenja	10:1	1:1
Raspon kompenzacije	10 do 25 pF	10 do 25 pF
Ulazni kapacitet	17.0 pF	110 pF
Ulazna otpornost	10 M Ω	1 M Ω

3. OSNOVE MAGNETIZMA

3.1. Magnetsko polje

Istosmjerna struja I koja teče kroz ravni vodič stvara magnetsko polje B oko vodiča, jakosti magnetskog polja H . [5]



Slika 3.1. Magnetsko polje generirano strujom kroz ravni vodič [5]

$$B = \mu_0 * H \text{ [T]} \quad (3-1)$$

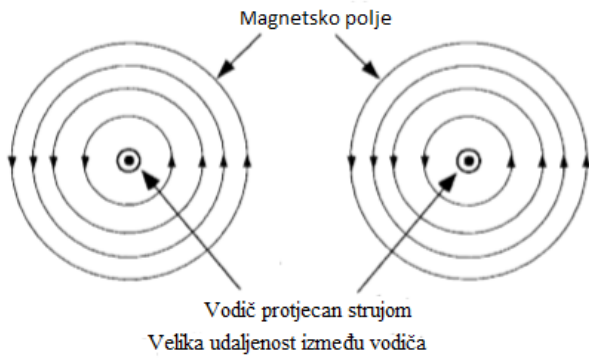
$$H = \frac{I}{2\pi r} \text{ [A/m]} \quad (3-2)$$

$$B_m = \frac{\phi}{\text{cm}^2} \text{ [T]} \quad (3-3)$$

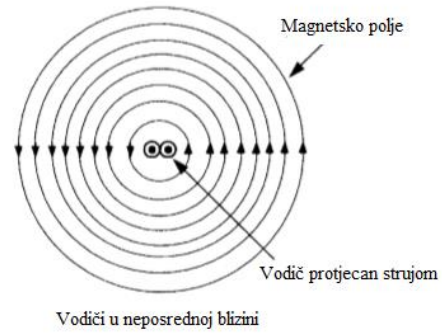
B -magnetsko polje; H -jakost magnetskog polja; B_m -gustoća magnetskog polja; ϕ -magnetski tok

Smjer djelovanja magnetskog polja oko vodiča je kružnog oblika, a određuje se pravilom desne ruke za ravni vodič: „Desnu ruku postavimo tako da nam ispruženi palac pokazuje smjer struje u vodiču, a savijeni prsti će tada pokazati smjer magnetskog polja.“ Obrne li se smjer struje, isto tako će se okrenuti i smjer magnetskog polja. [5]

Kada struja teče kroz vodič, oko vodiča se stvara magnetsko polje. Ako su vodiči kroz koje teče struja u istom smjeru razmaknuti dovoljno, magnetska polja generirana prolaskom struje kroz vodiče neće utjecati jedno na drugo (Slika 3.2.). Ako su isti vodiči jedan do drugog, magnetska polja se zbrajaju, a intenzitet polja se udvostruči (Slika 3.3.). [5]



Slika 3.2. Magnetska polja generirana oko razmaknutih vodiča[5]

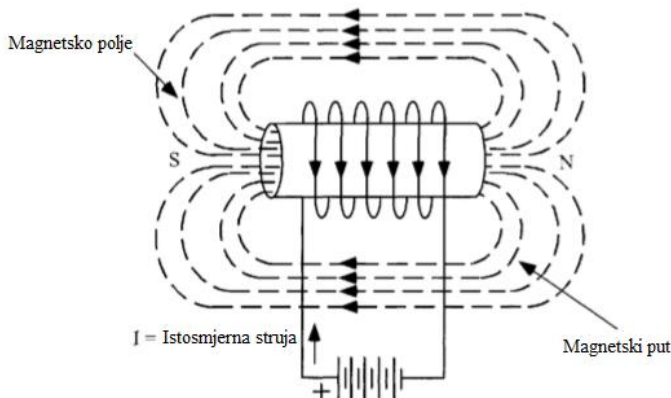


Slika 3.3. Magnetska polja generirana oko susjednih vodiča[5]

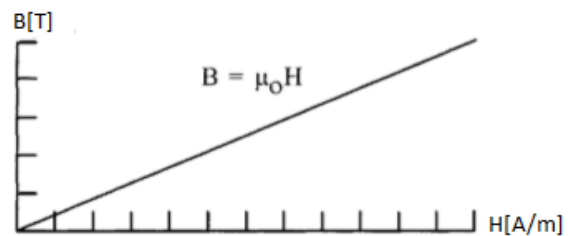
Ako je žica namotana na svitak, njeno magnetsko polje je znatno pojačano. Dobiva se magnetsko polje dobiveno na slici 3.4.. Zavojnica, poput običnog magneta, ima sjeverni i južni pol. Polaritet se može obrnuti tako da se obrne tok struje I kroz zavojnicu. Zapaža se ovisnost magnetskog polja, odnosno, smjera magnetskog polja o smjeru struje. Magnetski krug je prostor u kojemu se magnetski tok kreće oko zavojnice. Odnos između gustoće magnetskog toka B i jakosti magnetskog polja H za zavojnicu sa zračnom jezgrom prikazan je na slici 3.5.. Omjer gustoće magnetskog polja B i jakosti magnetskog polja H naziva se permeabilnost.[5]

$$\mu_0 = 4 * \pi * 10^{-7} [\text{H/m}] \quad (3-4)$$

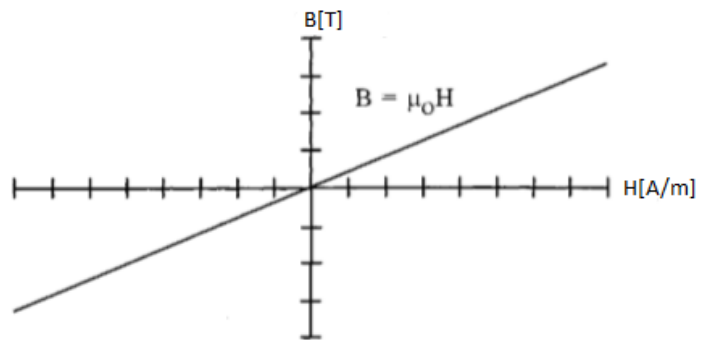
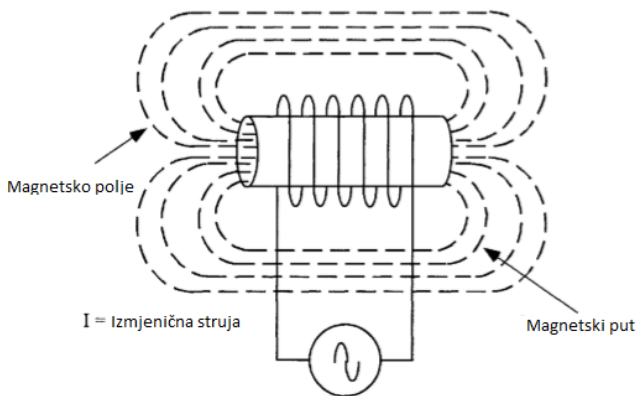
Kada bi se sa slike 3.4. zamijenila baterija sa izmjeničnim izvorom kao što je prikazano na slici 3.6., odnos između gustoće magnetskog toka B i jakosti magnetskog toka H bio bi na slici 3.7.. Budući da je odnos linearan, povećanjem H se povećava B , a ujedno i magnetski tok u zavojnici, i na taj način se mogu proizvesti vrlo velika polja s vrlo velikim strujama. Očito postoji praktično ograničenje koje ovisi o maksimalno dozvoljenoj struji u vodiču i rezultirajućem porastu.[5]



Slika 3.4. Zavojnica sa zračnom jezgrom sa istosmjernom uzбудom[5]



Slika 3.5. Odnos B i H sa istosmjernom uzбудom[5]



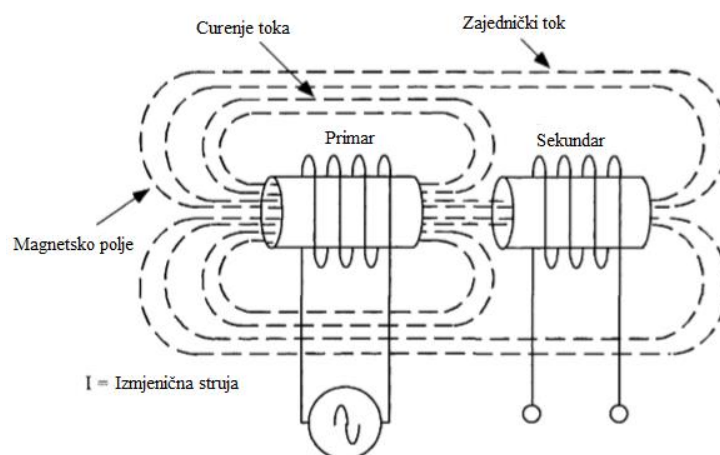
Slika 3.6. Zavojnica sa zračnom jezgrom sa izmjeničnom uzбудom[5]

Slika 3.7. Odnos B i H sa izmjeničnom uzбудom[5]

Izrazi (3-1), (3-2), (3-3) i (3-4) preuzeti su iz [5].

3.2. Transformator

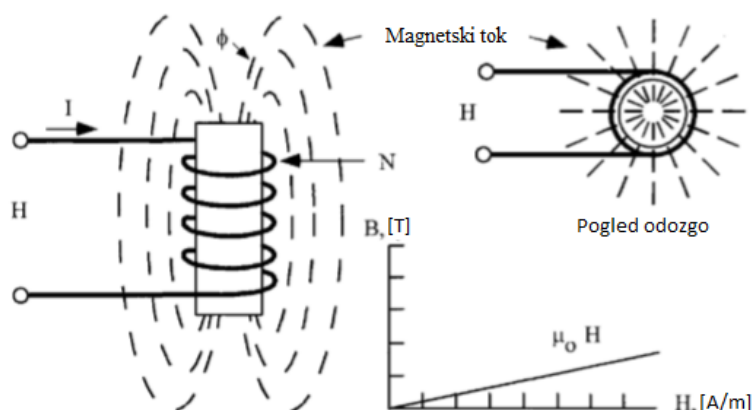
Transformator u svom najjednostavnijem obliku prikazan je na slici 3.8.. Ovaj transformator ima dvije zavojnice sa zračnim jezgrama koje dijele zajednički magnetski tok. Magnetski tok se razilazi na sve strane sa krajeva primara. Primar je povezan sa izvorom i provodi struju koja uspostavlja magnetsko polje. Sekundar je otvoren. Primjećuje se da silnice magnetskog toka nisu jednake za obje zavojnice. Razlika je curenje toka, dio toka koji ne povezuje obje zavojnice.[5]



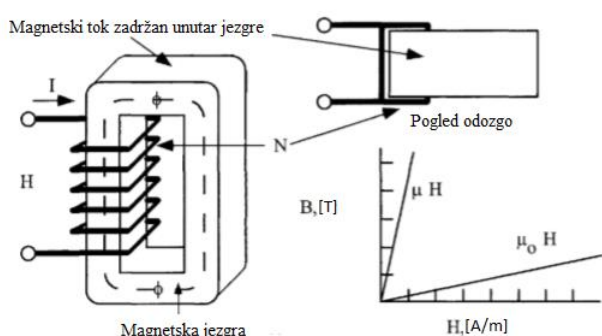
Slika 3.8. Transformator[5]

3.3. Magnetska jezgra

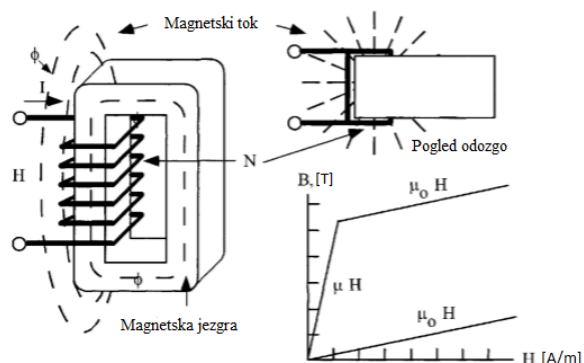
Većina materijala su loši vodiči magnetskog toka, imaju malu permeabilnost. Vakuum ima relativnu permeabilnost iznosa 1, a nemagnetski materijali kao što su zrak, papir i drvo imaju relativnu permeabilnost istog reda. Postoji nekoliko materijala kao što su željezo, nikal, kobalt i njihove legure koje imaju visoku razinu relativne permeabilnosti, ponekad u rasponu od nekoliko stotina tisuća. Da bi se postiglo poboljšanje naspram zračne jezgre koja je prikazana na slici 3.9., uvodi se magnetska jezgra koja je prikazana na slici 3.10.. Uz njenu visoku relativnu permeabilnost, prednost magnetske jezgre je ta što je tok bitno ograničen na jezgru, osim u neposrednoj blizini zavojnice. Postoji ograničenje koliko magnetskog toka može biti generirano u magnetskom materijalu prije nego magnetska jezgra ode u zasićenje, a zavojnica se vrati u zračnu jezgru kao što je prikazano na slici 3.11..[5]



Slika 3.9. Emitiranje magnetskog toka uzdužne zavojnice sa zračnom jezgrom[5]



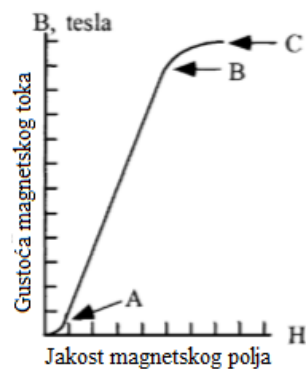
Slika 3.10. Magnetska jezgra[5]



Slika 3.11. Uzbuđena magnetska jezgra dovedena do zasićenja[5]

Učinak uzbuđivanja potpuno demagnetiziranog feromagnetskog materijala sa vanjskom magnetskom silom H , povećavajući pomalo, od 0, prikazan je na slici 3.12. gdje je rezultirajuća gustoća magnetskog toka B , prikazana kao funkcija magnetske sile H . Vidi se da se prvo gustoća magnetskog toka povećava vrlo sporo sve do točke A, zatim se povećava iznimno brzo do točke B, a zatim se gotovo prestane povećavati. Točka B se zove koljeno krivulje. U točki C, magnetska jezgra je zasićena. Od ove točke, nagib krivulje je:

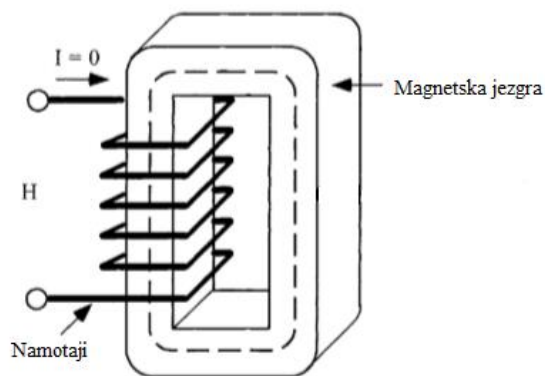
$$\frac{B}{H} = 1 \left[\frac{T}{A/m} \right] \quad (3-5)$$



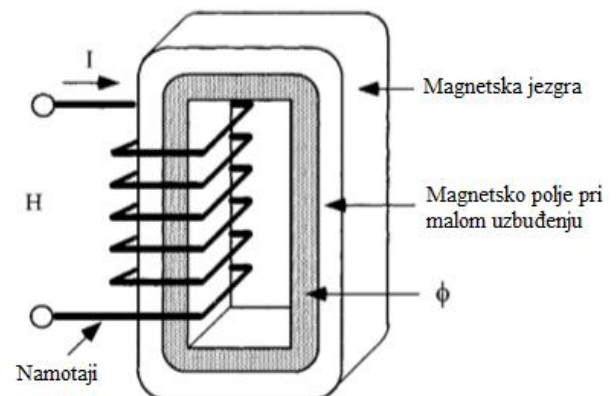
Slika 3.12. Krivulja magnetiziranja[5]

Zavojnica se sada ponaša kao da ima zračnu jezgru. Kada je magnetska jezgra u tvrdom zasićenju, zavojnica ima istu permeabilnost kao zrak. Slike 3.13., 3.14. i 3.15. prikazuju kako se magnetski tok generira iznutra prema van sve do zasićenja jezgre.[5]

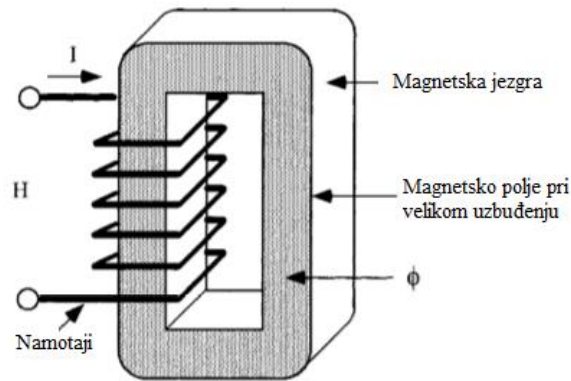
Izraz (3-5) preuzet je iz [5].



Slika 3.13. Magnetska jezgra bez uzbuđenja[5]



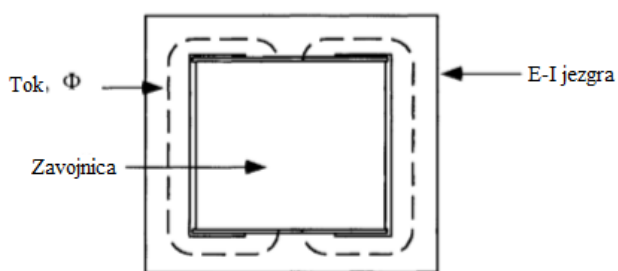
Slika 3.14. Magnetska jezgra sa malim uzbuđenjem[5]



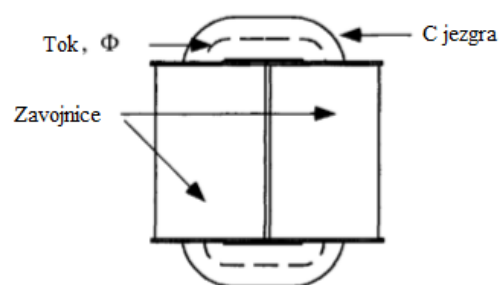
Slika 3.15. Magnetska jezgra sa velikim uzbuđenjem[5]

3.4. Vrste jezgri

Glavna svrha jezgre je da zadrži magnetski tok i da stvori dobro definiran predviđen put za tok. Odabir jezgrenog materijala i geometrije se obično temelji na kompromisu između sukobljenih zahtjeva kao što su veličina, težina, porast temperature, gustoća magnetskog toka, gubici jezgre i radna frekvencija. Postoje dvije vrste konstrukcije magnetskih jezgri, kada je zavojnica unutar jezgre(Slika 3.16.), i kada je zavojnica namotana oko jezgre(Slika 3.17.), za što je dobar primjer torusna jezgra.[5]



Slika 3.16. Jezgra okružuje zavojnicu[5]

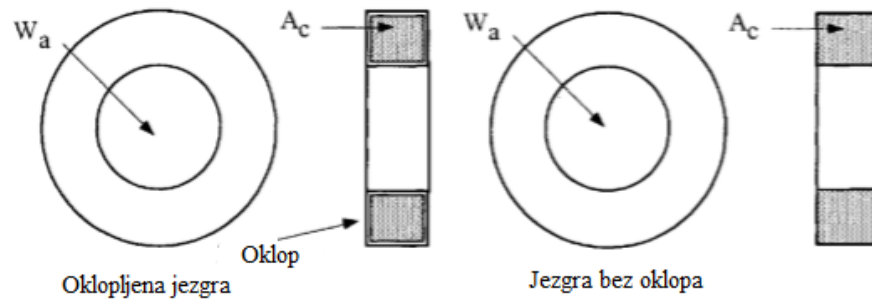


Slika 3.17. Zavojnica okružuje jezgru[5]

3.4.1. Torusna jezgra

Motana torusna jezgra konstruirana je namatanjem magnetskog materijala u obliku trake oko vretena. Ovaj materijal trake dolazi u svim legurama željeza, plus amorfni materijali. Debljina trake varira od 0,00318 mm do 0,305 mm. Torusna jezgra obično se nudi u dvije konfiguracije,

oklopljen i bez oklopa, kao što je prikazano na slici 3.18.. Oklopljene jezgre nude vrhunska električna svojstva. Jezgre bez oklopa se koriste kada nisu sva fina magnetska svojstva važna za dizajn.



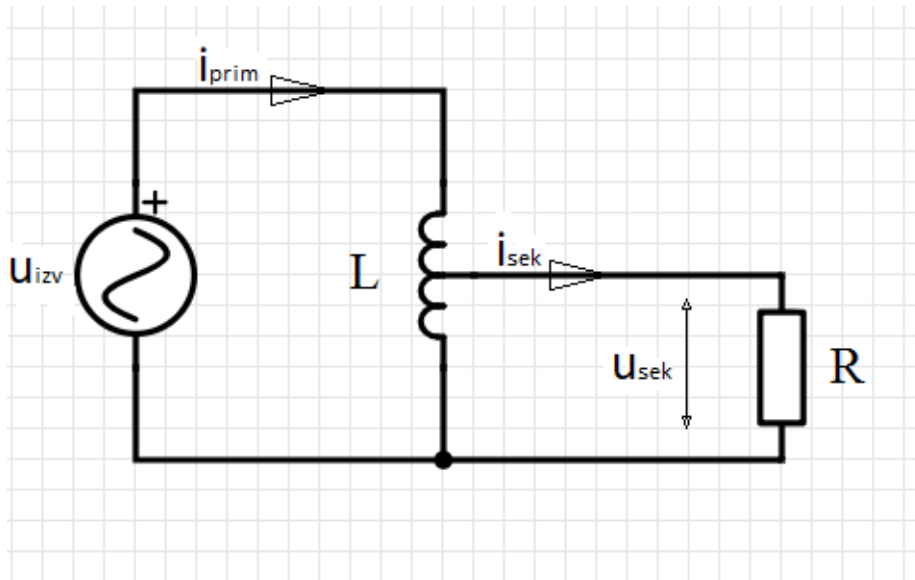
Slika 3.18. Konfiguracije torusne jezgre[5]

Prednosti torusnih jezgri[6]:

- Visoka električna efikasnost
- Niska razina šuma
- Malo polje radijacije
- Niska distorzija
- Minimalno magnetsko rasipanje
- Mala struja magnetiziranja
- Odlično raspoređenje grijanja
- Jednostavna zaštita (oklop)
- Prilagodivost prostoru
- Praktične dimenzije i masa
- Jednostavno pričvršćivanje
- Prihvatljiva cijena

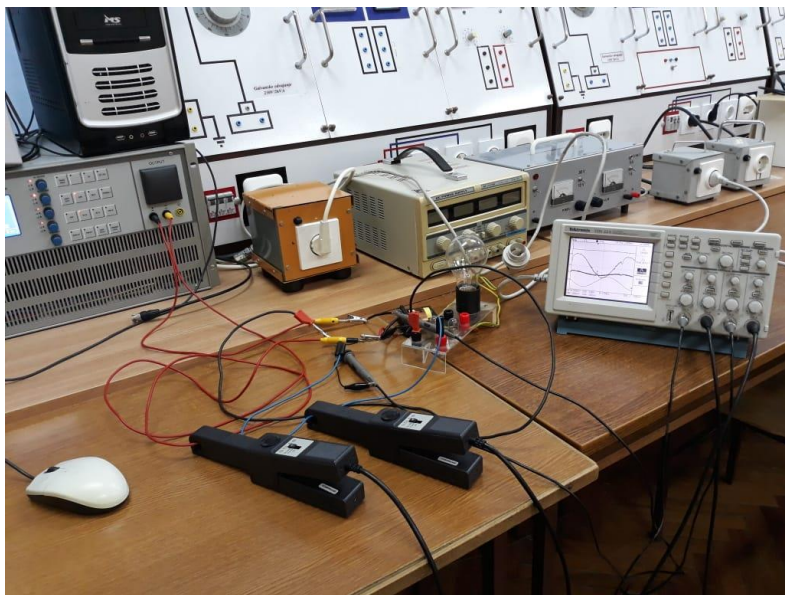
4. MJERENJA U LABORATORIJU

Mjerenja su rađena prema shemi spoja danoj u 2. poglavlju (Slika 4.1.). Mjerenja su napravljena za 2 vrste jezgri, za torusnu jezgru i za feritnu jezgru. Mjerali su se napon i struja primara i sekundara naponskim sondama i strujnim kliještima.



Slika 4.1. Shema spoja

Na slici 4.2. prikazano je radno mjesto gdje su se vršila mjerenja.



Slika 4.2. Radno mjesto

Na slici 4.3. prikazana je torusna jezgra korištena za mjerenje, a na slici 4.4. prikazana je feritna jezgra korištena za mjerenje.



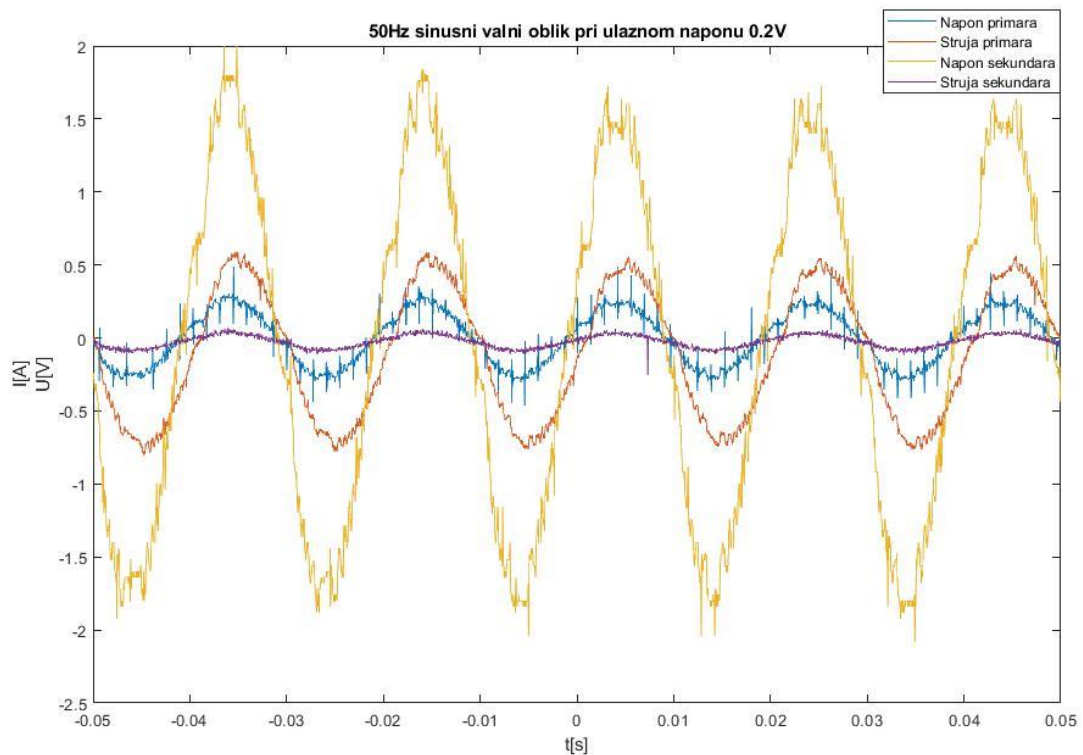
Slika 4.3. Torusna jezgra korištena za mjerenje



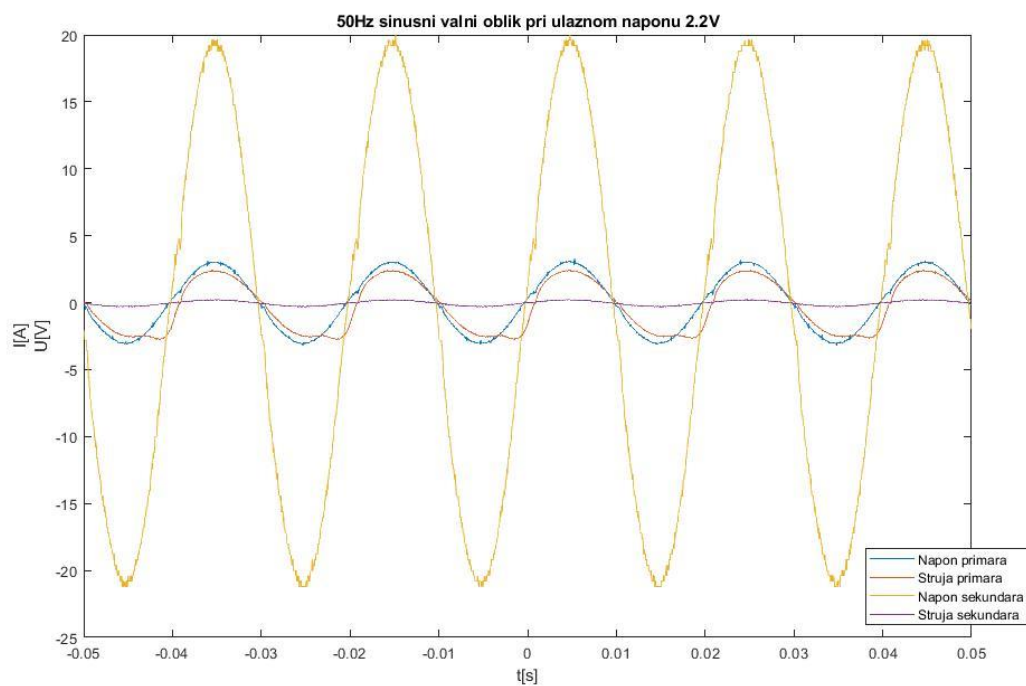
Slika 4.4. Feritna jezgra korištena za mjerenje

4.1. Mjerenja za torusnu jezgru

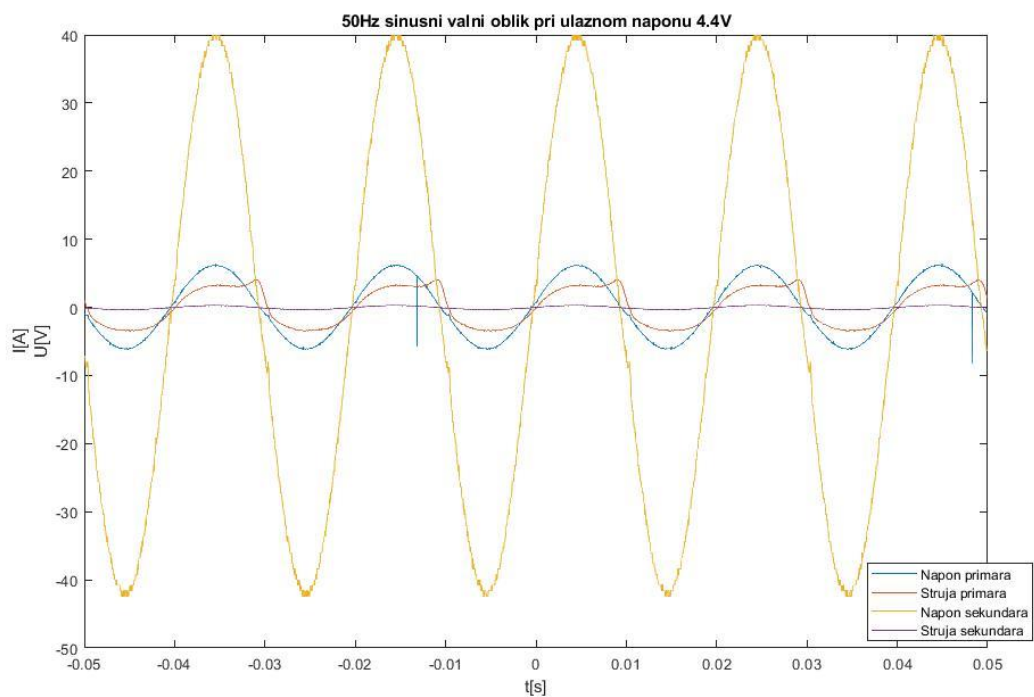
4.1.1. Mjerenja za sinusni valni oblik pri frekvenciji 50Hz



Slika 4.5. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za sinusni valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 0.2V



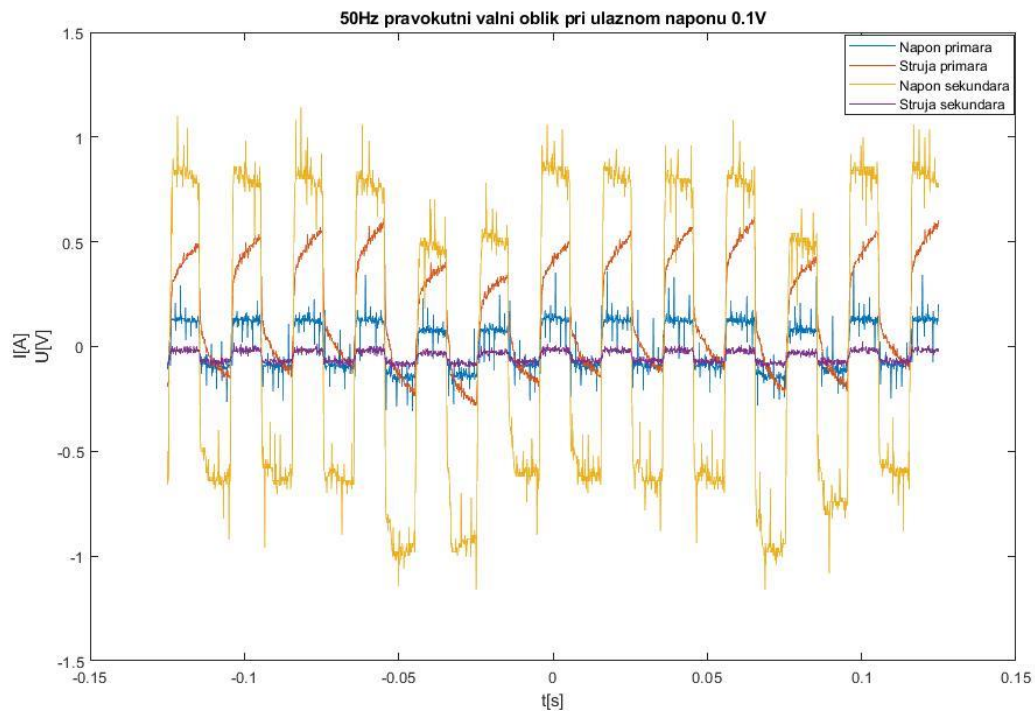
Slika 4.6. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za sinusni valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 2.2V



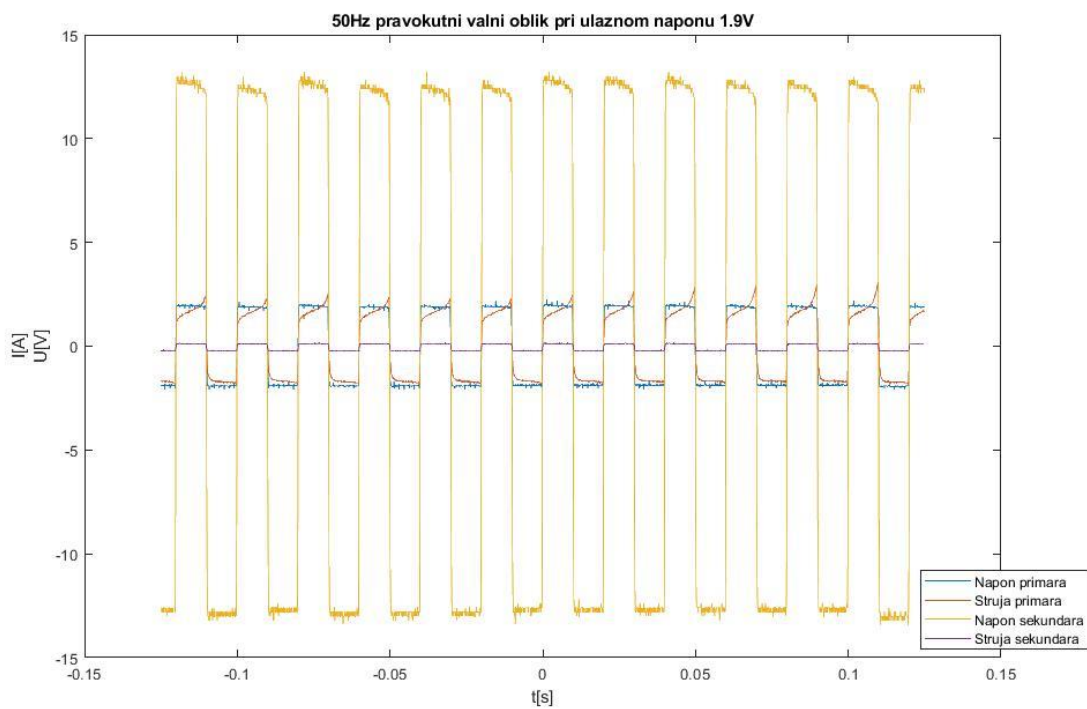
Slika 4.7. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za sinusni valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 4.4V

Mjerenja za sinusni valni oblik pri frekvenciji 50Hz rađena su povećavanjem ulaznog napona funkcijskog generatora od 0.2V do 4.4V u koracima od 0.2V te su za prikaz izabrana mjerenja pri naponima 0.2V, 2.2V i 4.4V.

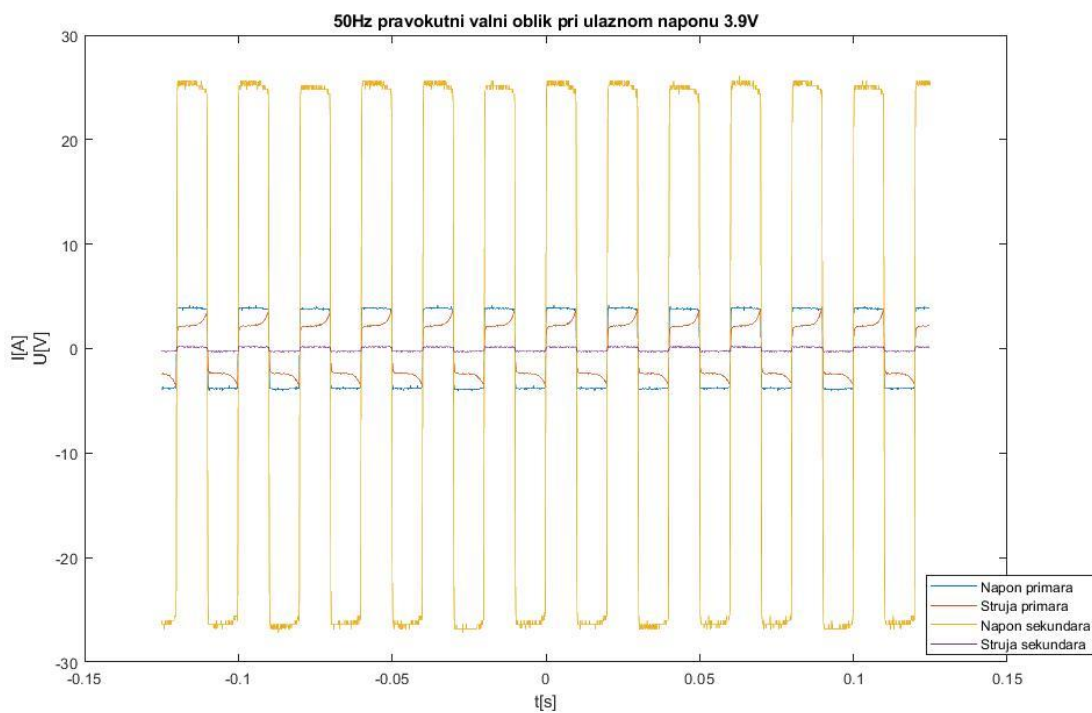
4.1.2. Mjerenja za pravokutni valni oblik pri frekvenciji 50Hz



Slika 4.8. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za pravokutni valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 0.1V



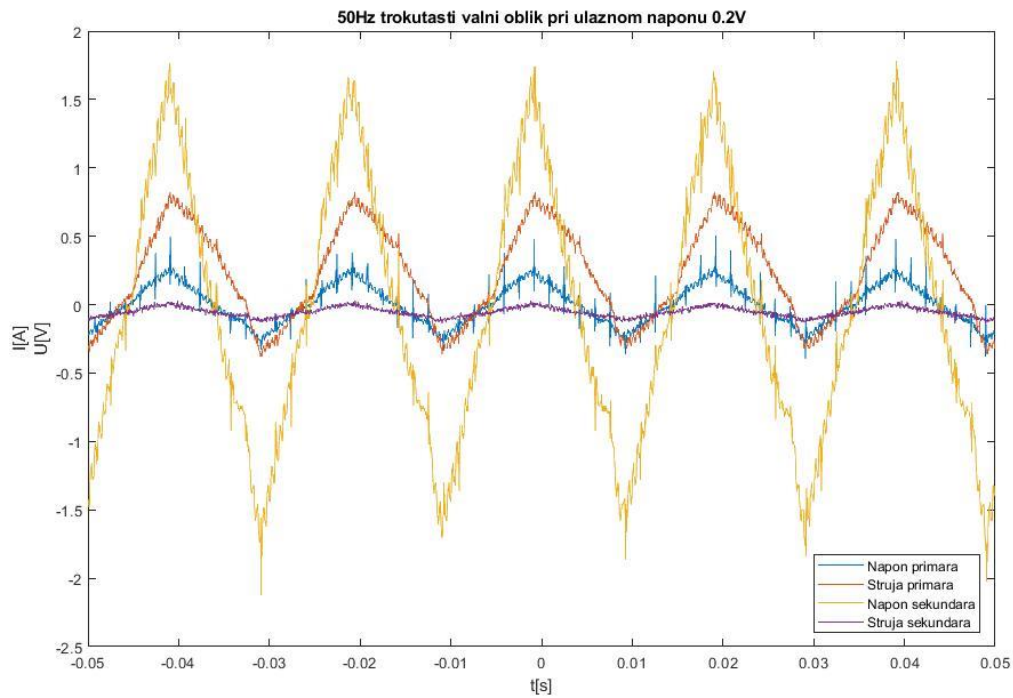
Slika 4.9. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za pravokutni valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 1.9V



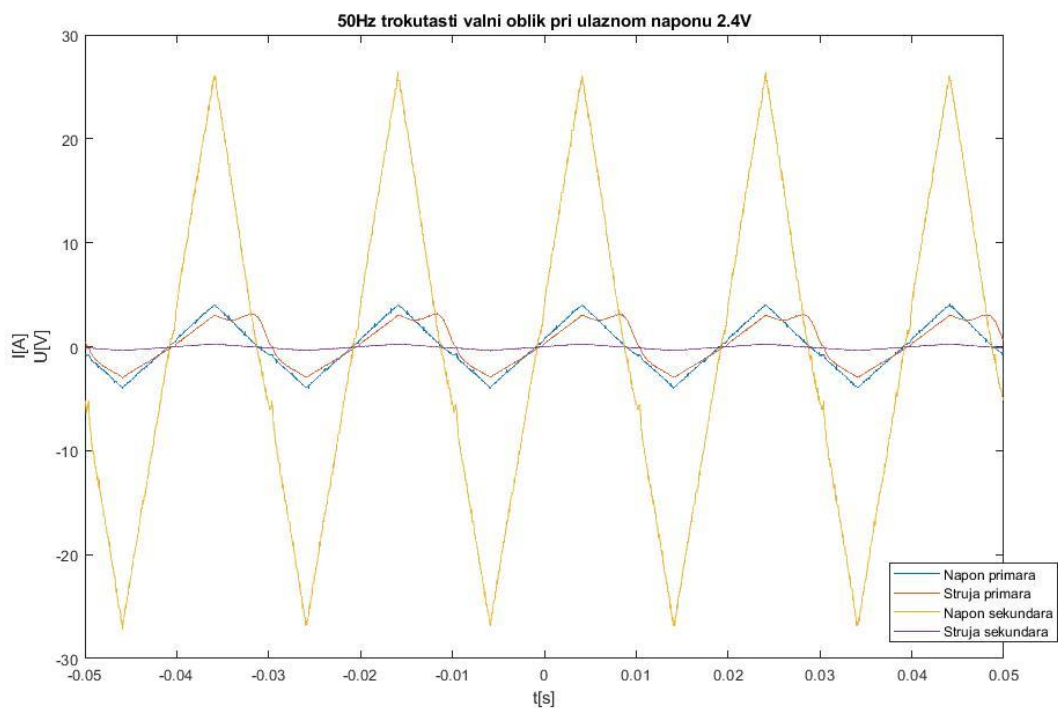
Slika 4.10. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za pravokutni valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 3.9V

Mjerenja za pravokutni valni oblik pri frekvenciji 50Hz rađena su povećavanjem ulaznog napona funkcijskog generatora od 0.1V do 3.9 V u koracima od 0.2V te su za prikaz izabrana mjerenja pri naponima 0.1V, 1.9V i 3.9V.

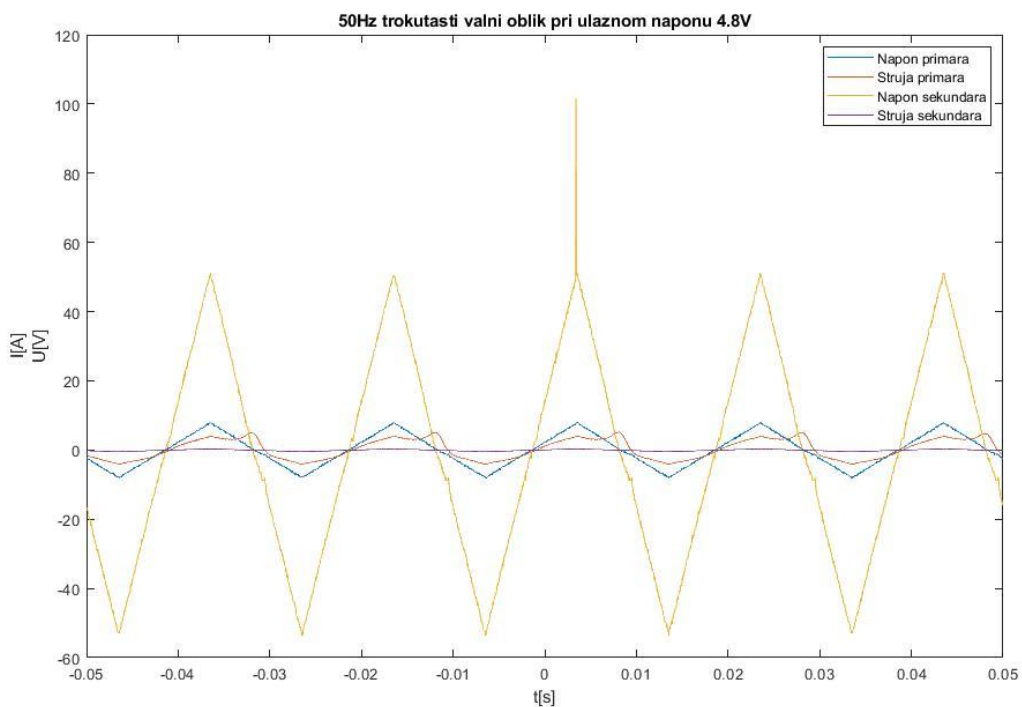
4.1.3. Mjerenja za trokutasti valni oblik pri frekvenciji 50Hz



Slika 4.11. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za trokutasti valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 0.2V



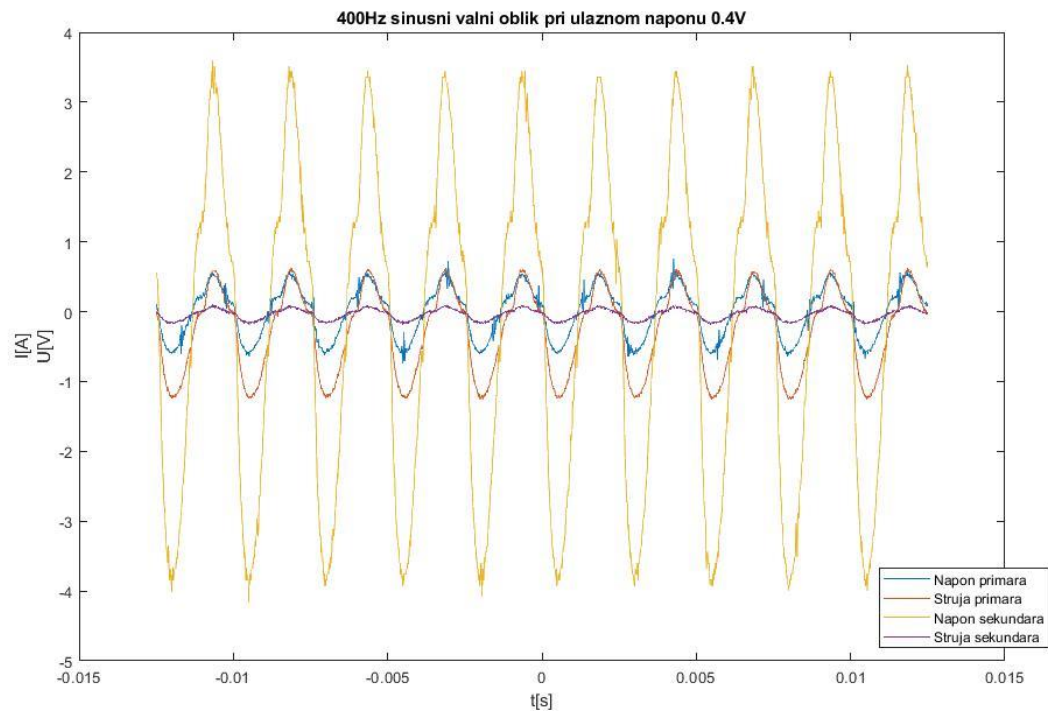
Slika 4.12. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za trokutasti valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 2.4V



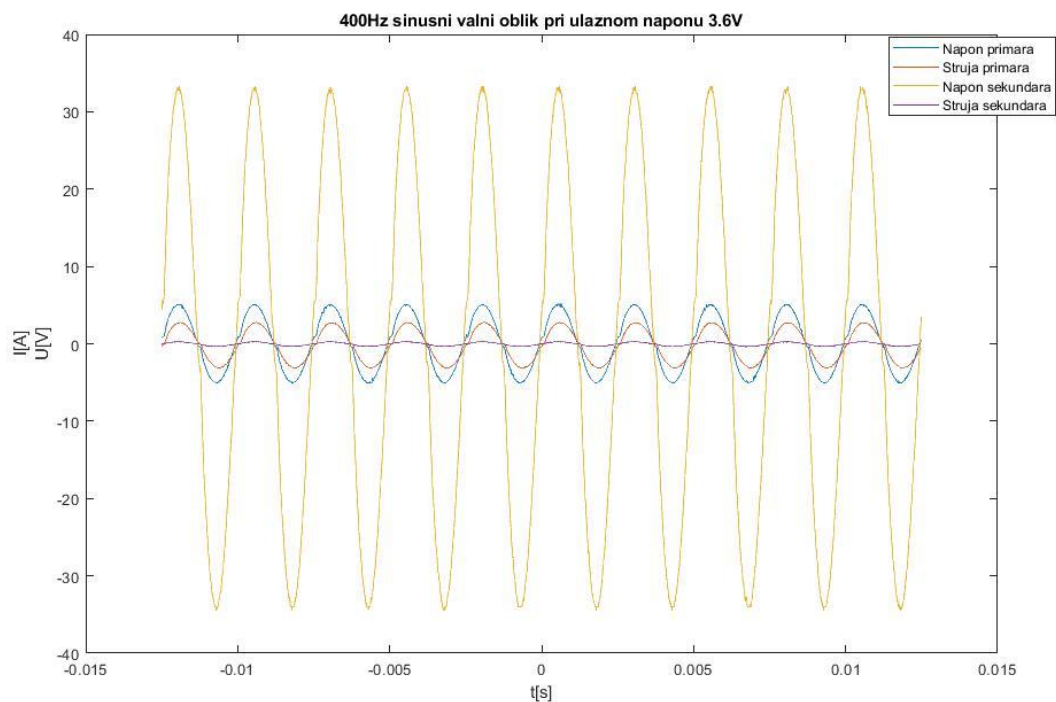
Slika 4.13. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za trokutasti valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 4.8V

Mjerenja za trokutasti valni oblik pri frekvenciji 50Hz rađena su povećavanjem ulaznog napona funkcijskog generatora od 0.2V do 4.8V u koracima od 0.2V te su za prikaz izabrana mjerenja pri naponima 0.2V, 2.4V i 4.8V.

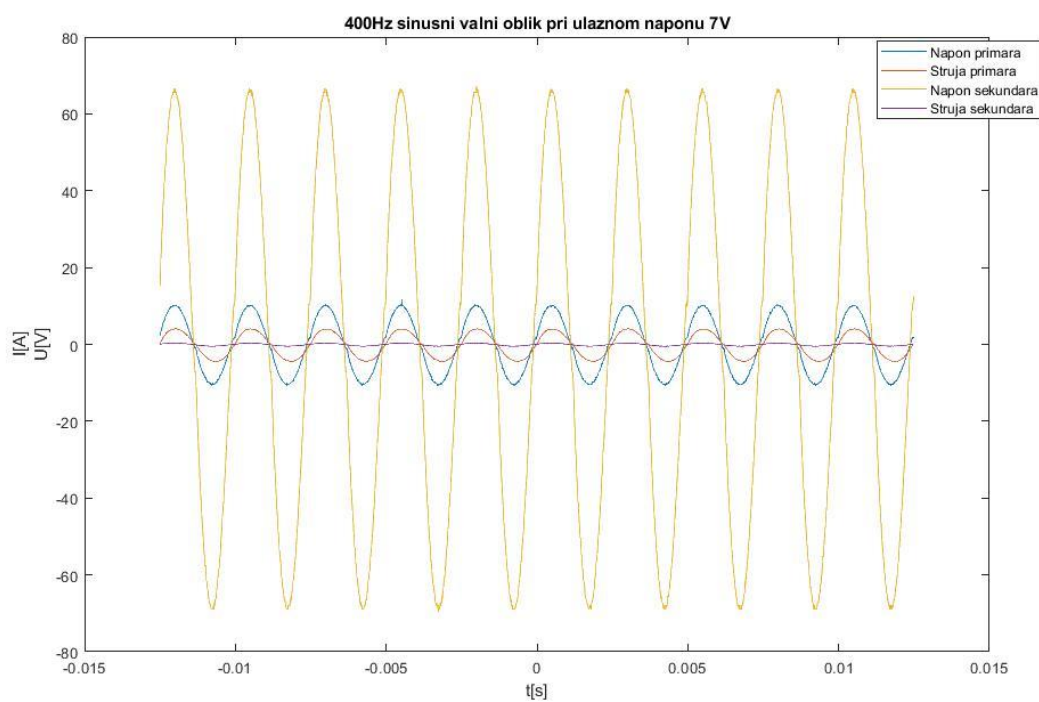
4.1.4. Mjerenja za sinusni valni oblik pri frekvenciji 400Hz



Slika 4.14. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za sinusni valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 0.4V



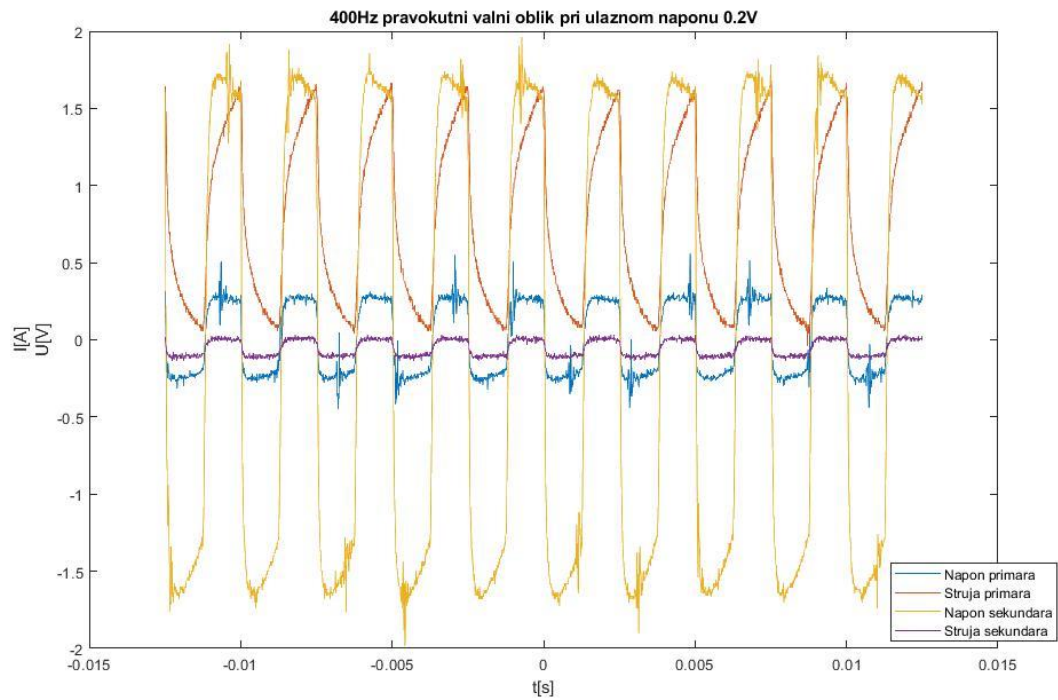
Slika 4.15. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za sinusni valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 3.6V



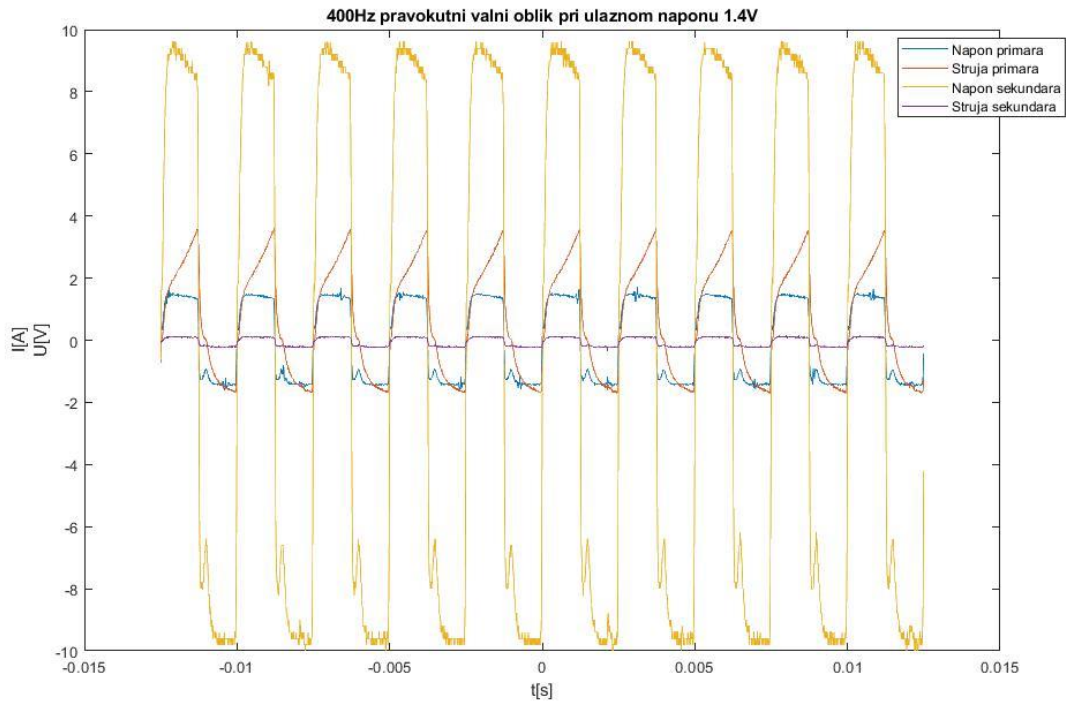
Slika 4.16. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za sinusni valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 7V

Mjerenja za sinusni valni oblik pri frekvenciji 400Hz rađena su povećavanjem ulaznog napona funkcijskog generatora od 0.4V do 7 V u koracima od 0.4V te su za prikaz izabrana mjerenja pri naponima 0.4V, 3.6V i 7V.

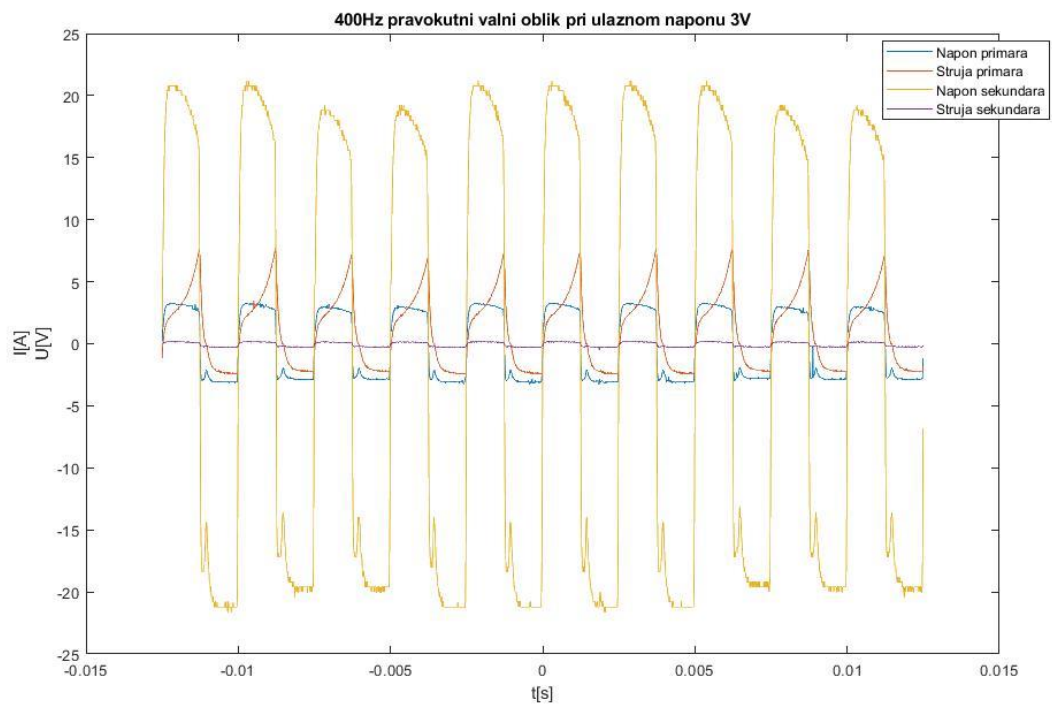
4.1.5. Mjerenja za pravokutni valni oblik pri frekvenciji 400Hz



Slika 4.17. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za pravokutni valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 0.2V



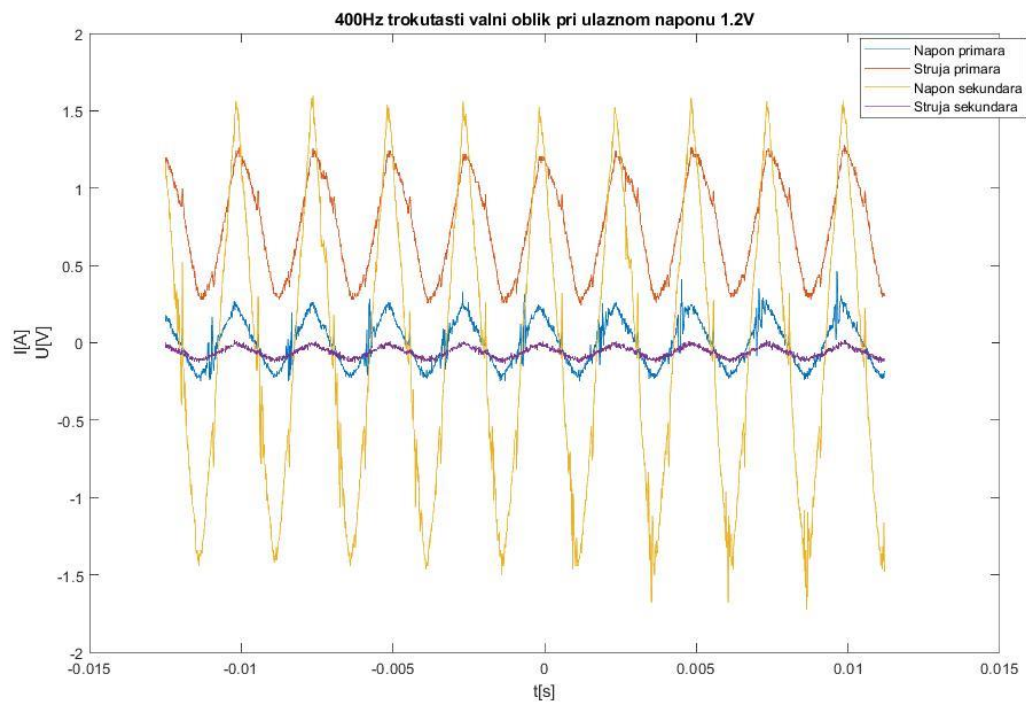
Slika 4.18. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za pravokutni valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 1.4V



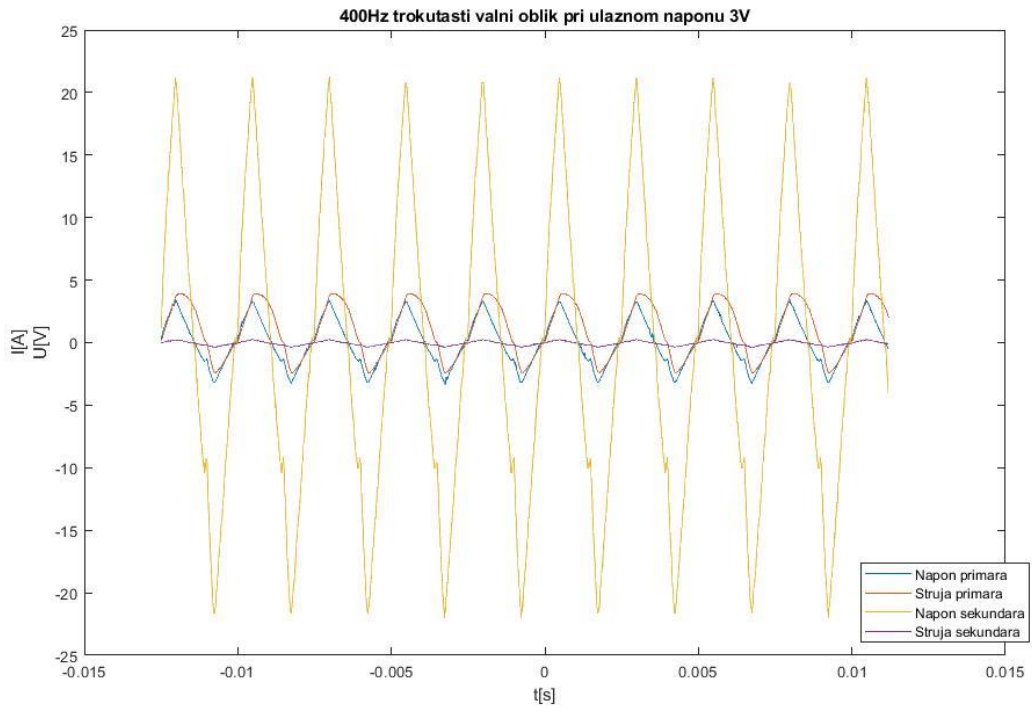
Slika 4.19. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za pravokutni valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 3V

Mjerenja za pravokutni valni oblik pri frekvenciji 400Hz rađena su povećavanjem ulaznog napona funkcijskog generatora od 0.2V do 3 V u koracima od 0.2V te su za prikaz izabrana mjerenja pri naponima 0.2V, 1.4V, i 3V.

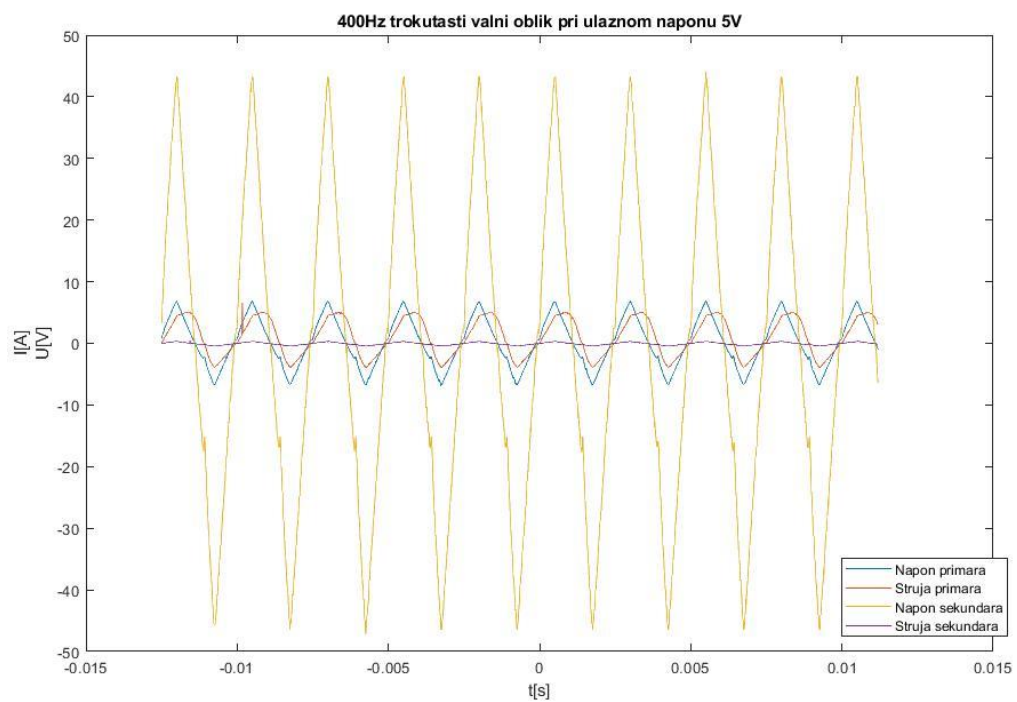
4.1.6. Mjerenja za trokutasti valni oblik pri frekvenciji 400Hz



Slika 4.20. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za trokutasti valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 1.2V



Slika 4.21. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za trokutasti valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 3V



Slika 4.22. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za trokutasti valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 5V

Mjerenja za trokutasti valni oblik pri frekvenciji 400Hz rađena su povećavanjem ulaznog napona funkcijskog generatora od 1.2V do 5V u koracima od 0.2V te su za prikaz izabrana mjerenja pri naponima 1.2V, 3V i 5V.

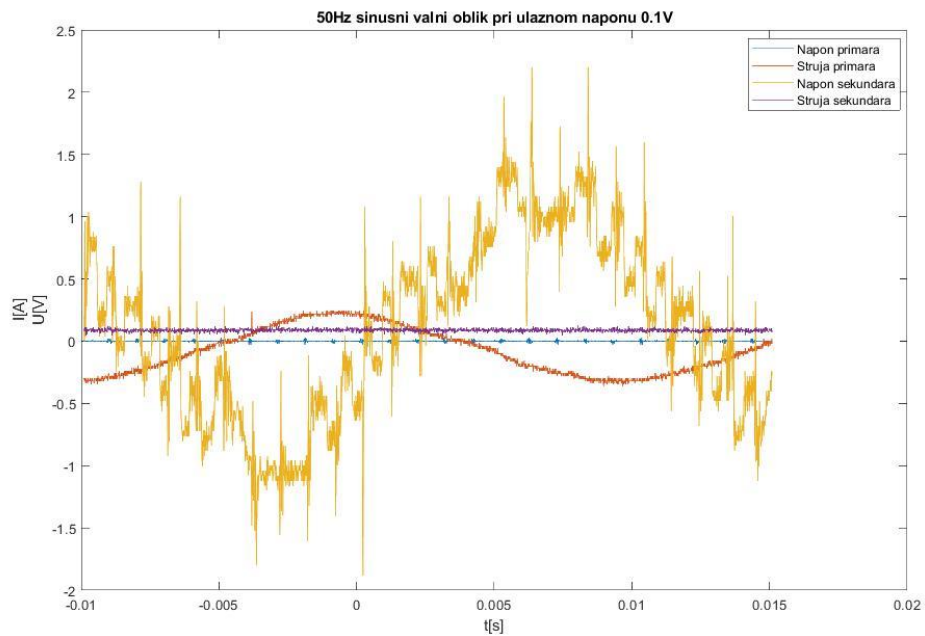
4.1.7. Komentari na mjerenja

Kod mjerenja za frekvenciju 50Hz za sinusni, pravokutni i trokutasti valni oblik pri početku mjerenja se vidi da ima znatna količina šuma. Povećanjem ulaznog napona smanjuje se količina šuma te se dobiva uredniji graf. Struja sekundara je ograničena otporom te je 10 puta manja od struje primara, dok je napon sekundara 10 puta veći od napona primara. Razlog toga je prijenosni omjer transformatora s torusnom jezgrom koji je 1:10.

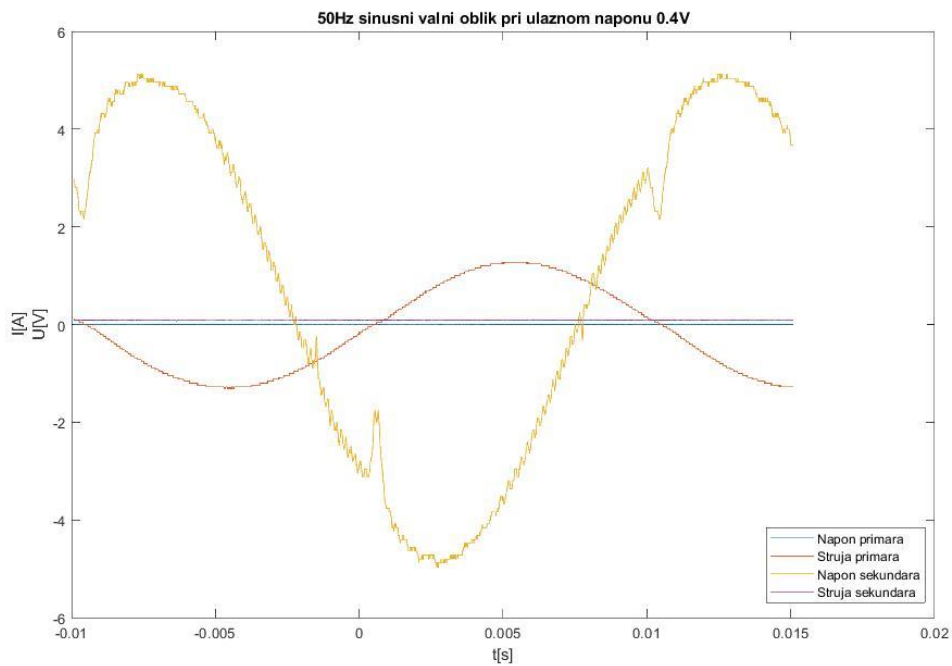
Kod mjerenja za frekvenciju 400Hz za sinusni, pravokutni i trokutasti valni oblik pri početku mjerenja se vidi da ima šuma, no za razliku od mjerenja pri frekvenciji 50Hz, vidi se da je količina šuma iako primjetna, manja od količine šuma pri početku mjerenja pri frekvenciji 50Hz. Povećanjem ulaznog napona smanjuje se količina šuma te se dobiva uredniji graf. Struja sekundara je ograničena otporom te je 10 puta manja od struje primara, dok je napon sekundara 10 puta veći od napona primara. Razlog tome je prijenosni omjer transformatora s torusnom jezgrom koji je 1:10.

4.2. Mjerenja za feritnu jezgru

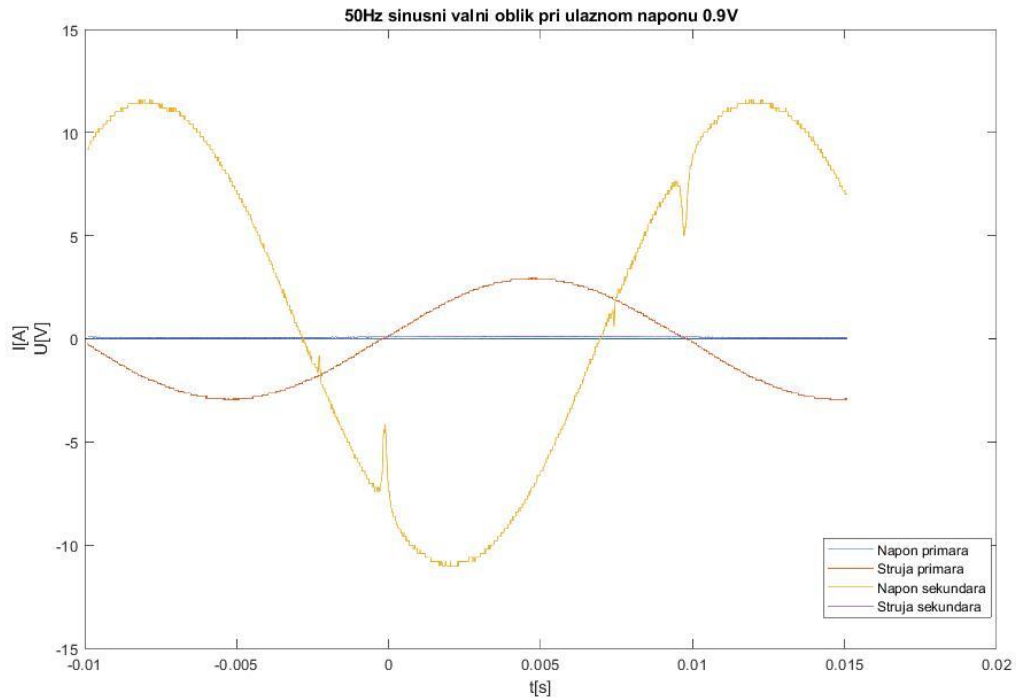
4.2.1. Mjerenja za sinusni valni oblik pri frekvenciji 50Hz



Slika 4.23. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za sinusni valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 0.1V



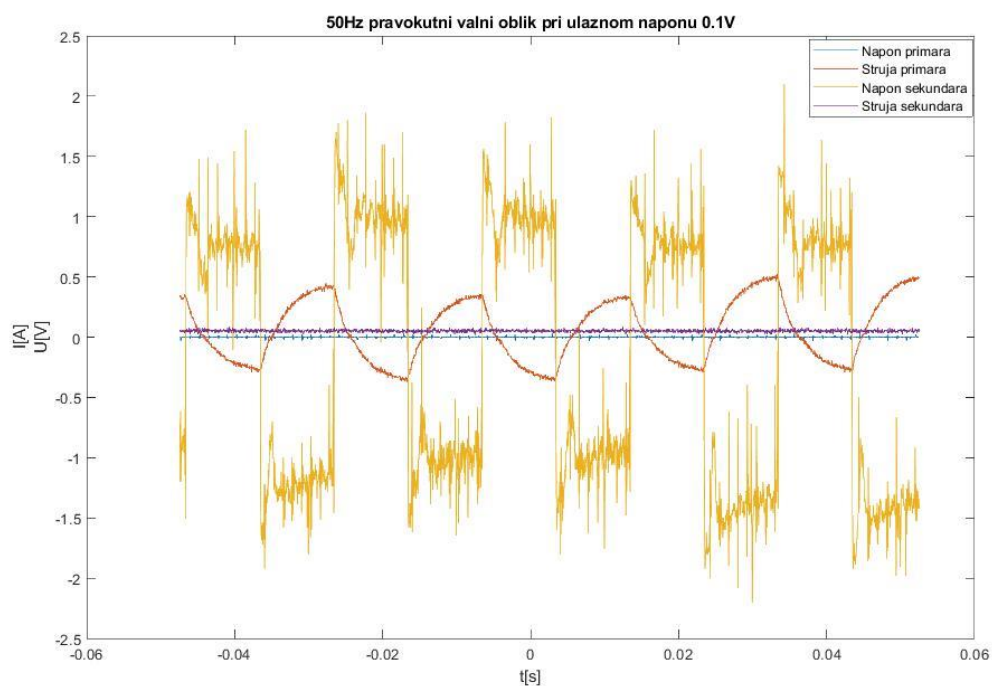
Slika 4.24. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za sinusni valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 0.4V



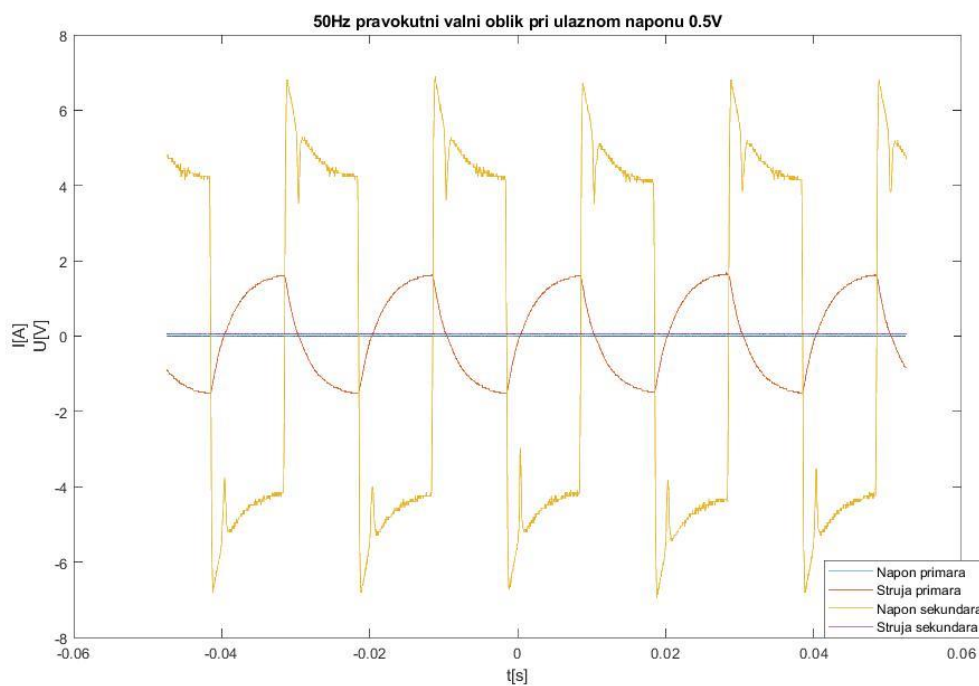
Slika 4.25. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za sinusni valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 0.9V

Mjerenja za sinusni valni oblik pri frekvenciji 50Hz rađena su povećavanjem ulaznog napona funkcijskog generatora od 0.1V do 0.9V u koracima od 0.1V te su za prikaz izabrana mjerenja pri naponima 0.1V, 0.4V i 0.9V.

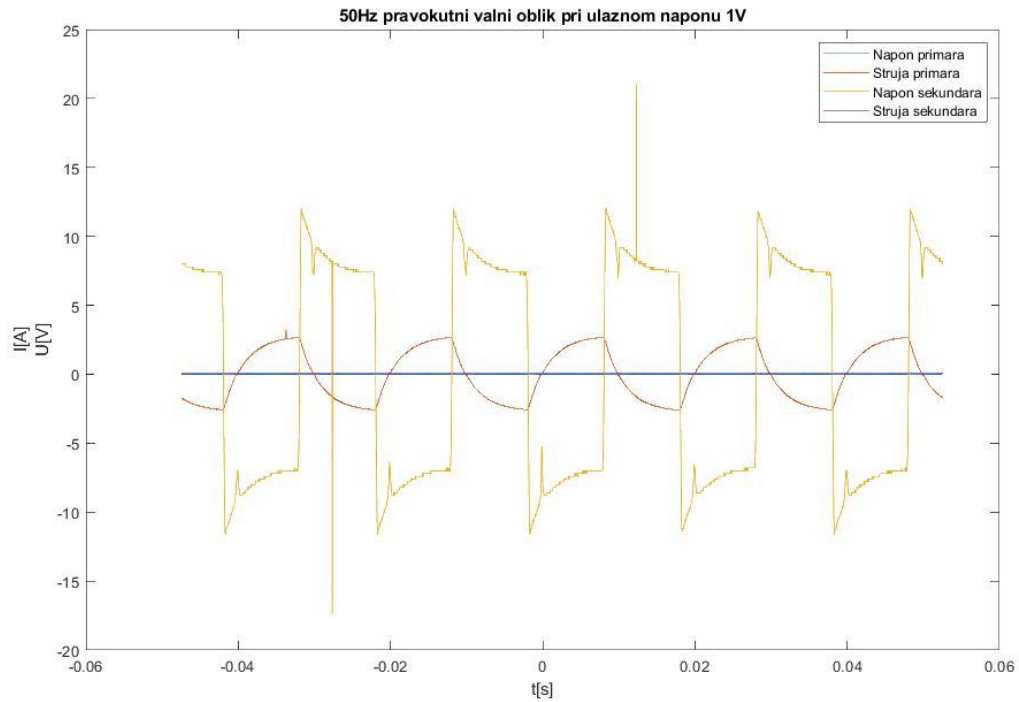
4.2.2. Mjerenja za pravokutni valni oblik pri frekvenciji 50Hz



Slika 4.26. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za pravokutni valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 0.1V



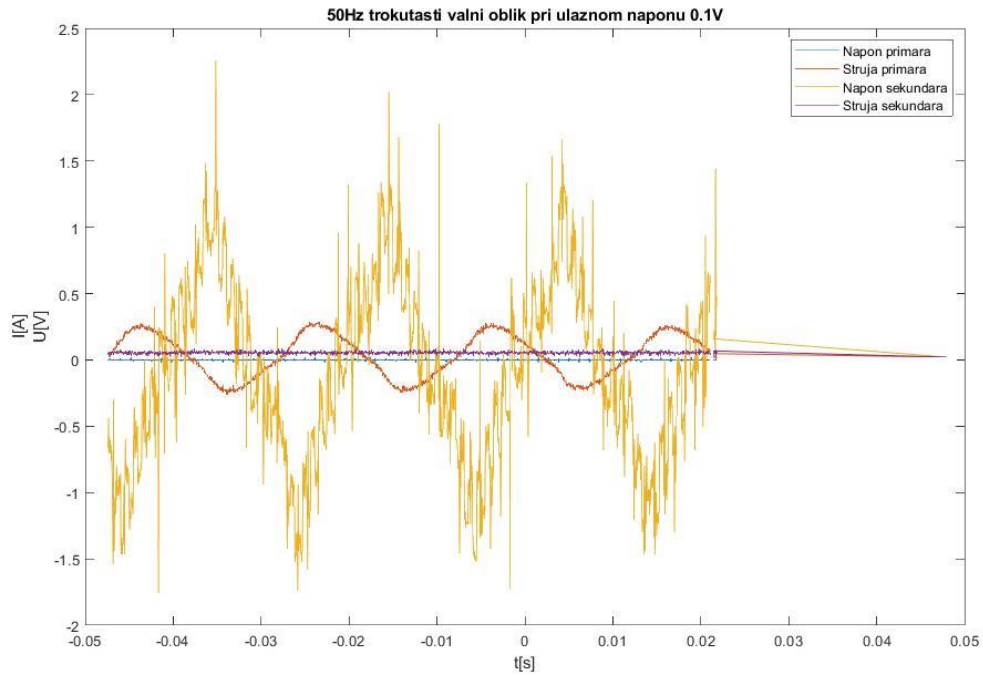
Slika 4.27. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za pravokutni valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 0.5V



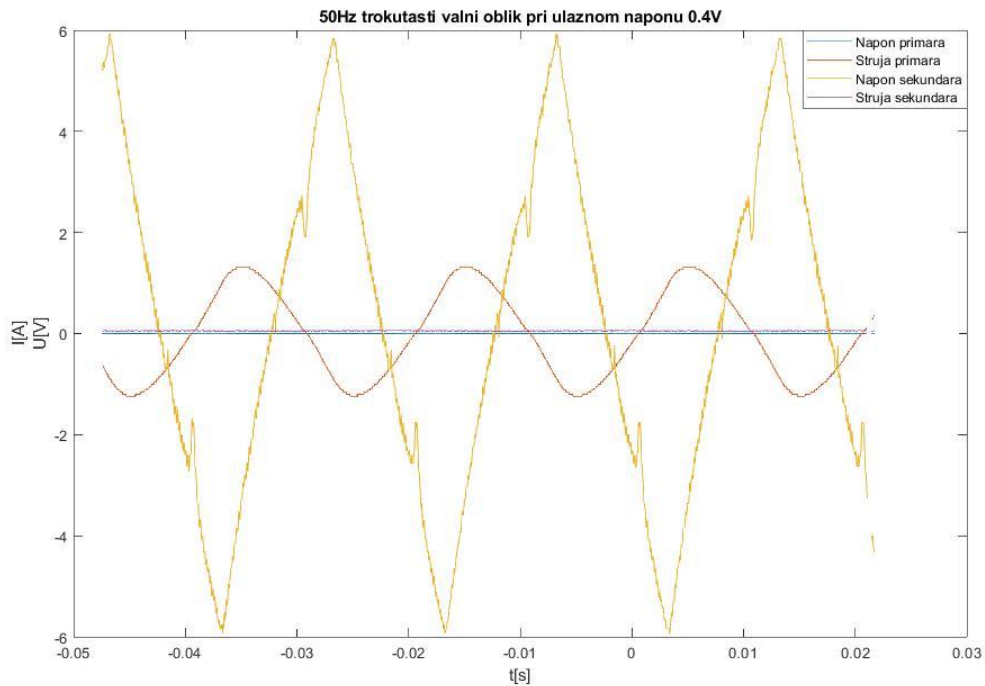
Slika 4.28. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za pravokutni valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 1V

Mjerenja za pravokutni valni oblik pri frekvenciji 50Hz rađena su povećavanjem ulaznog napona funkcijskog generatora od 0.1V do 1V u koracima od 0.1V te su za prikaz izabrana mjerenja pri naponima 0.1V, 0.5V i 1V.

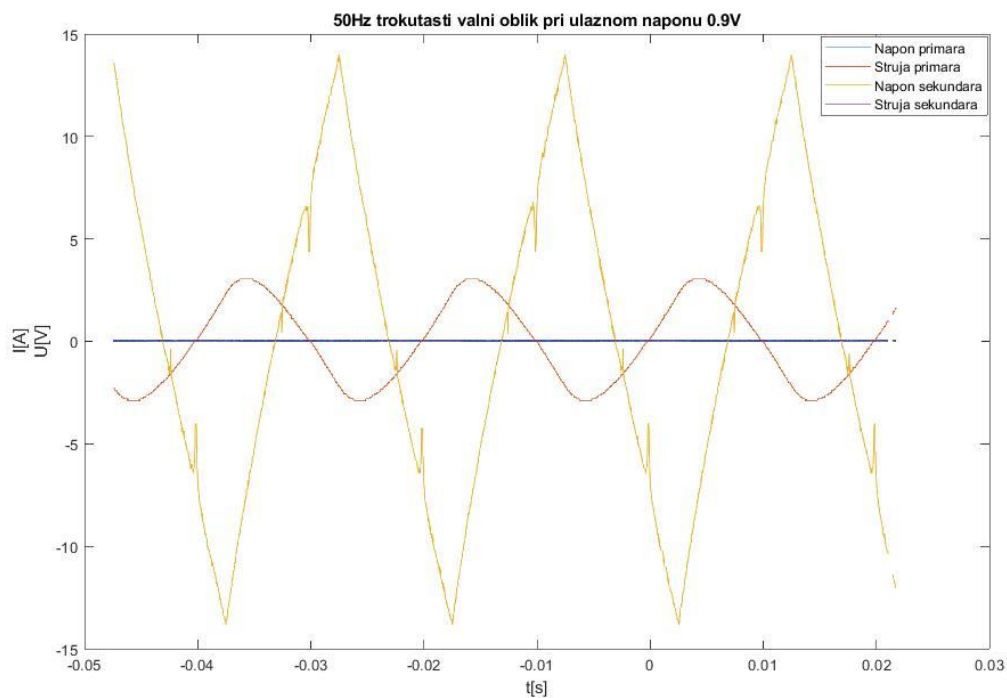
4.2.3. Mjerenja za trokutasti valni oblik pri frekvenciji 50Hz



Slika 4.29. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za trokutasti valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 0.1V



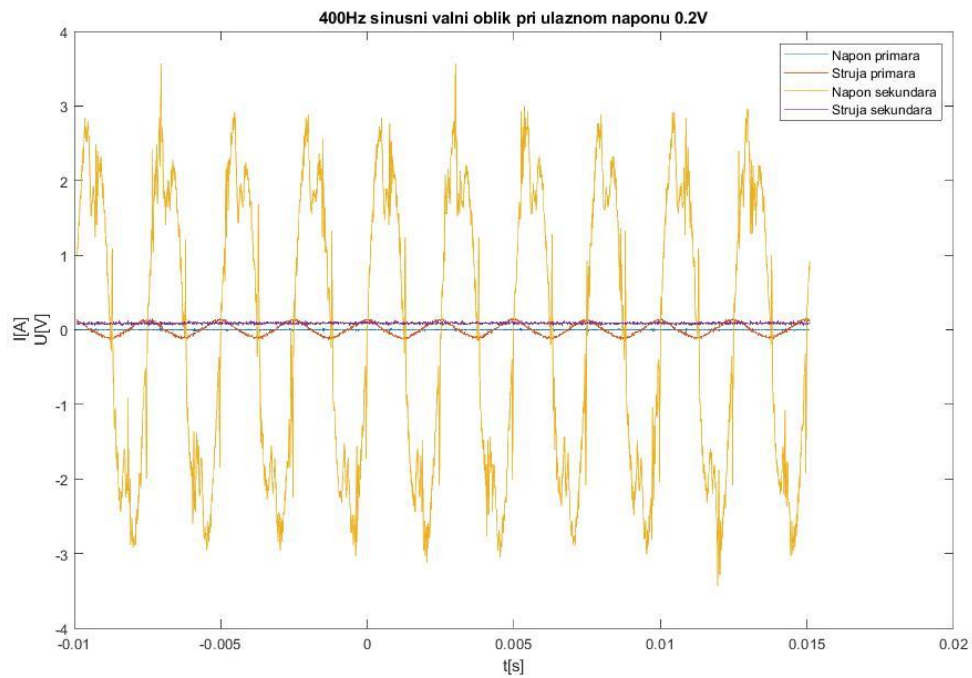
Slika 4.30. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za trokutasti valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 0.4V



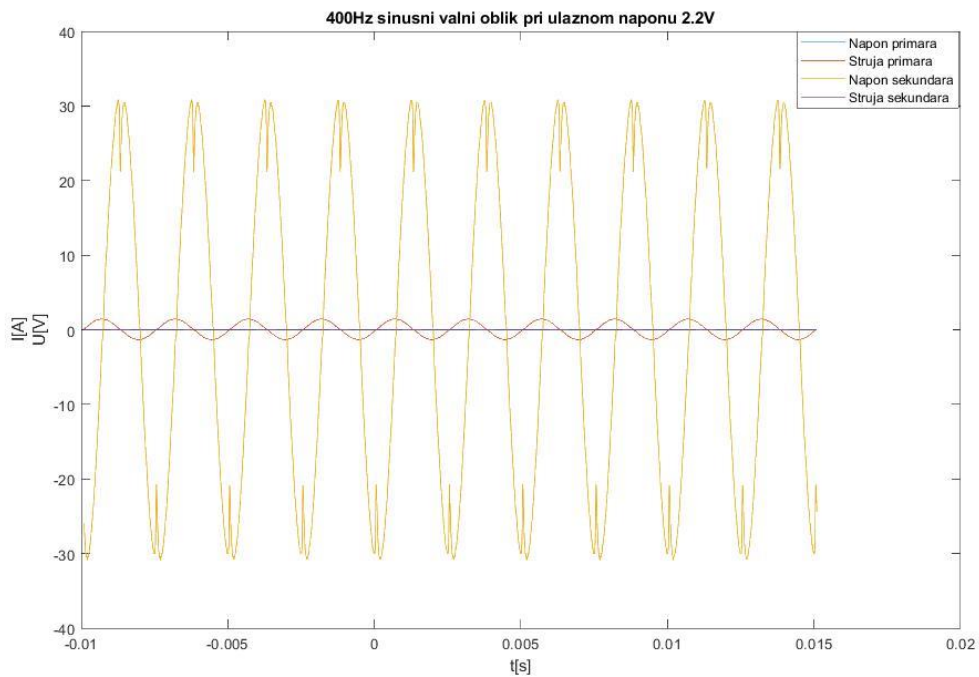
Slika 4.31. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za trokutasti valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 0.9V

Mjerenja za trokutasti valni oblik pri frekvenciji 50Hz rađena su povećavanjem ulaznog napona funkcijskog generatora od 0.1V do 0.9V u koracima od 0.1V te su za prikaz izabrana mjerenja pri naponima 0.1V, 0.4 i 0.9V.

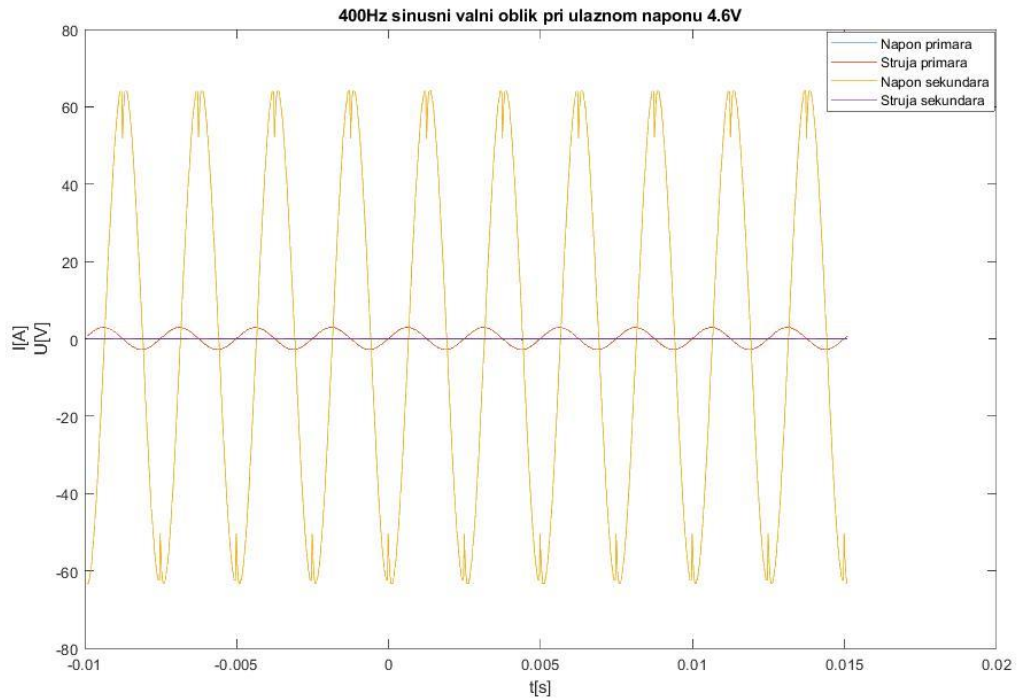
4.2.4. Mjerenja za sinusni valni oblik pri frekvenciji 400Hz



Slika 4.32. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za sinusni valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 0.2V



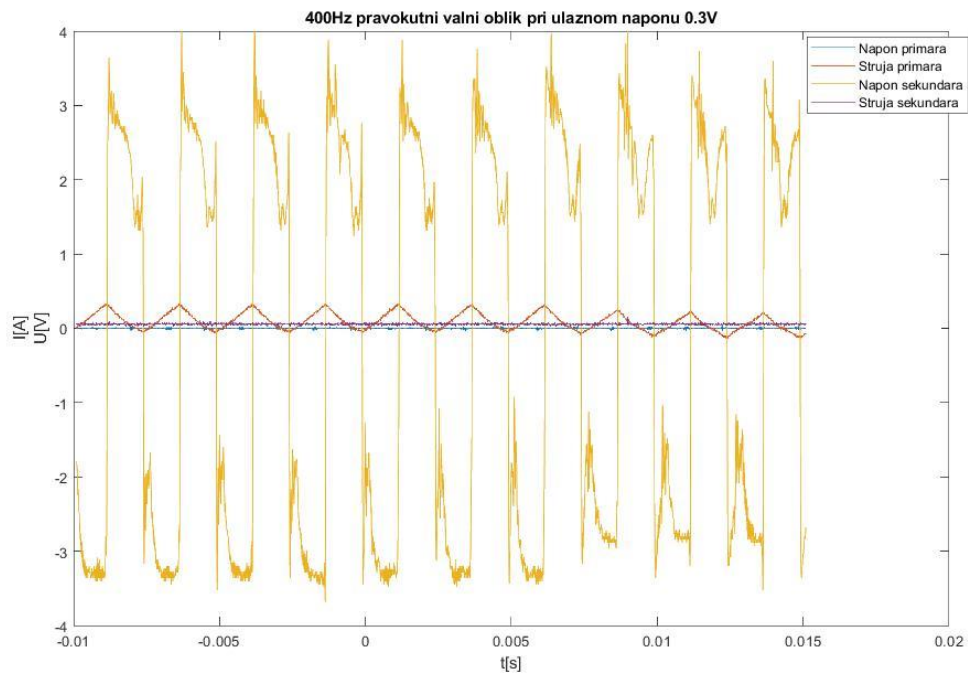
Slika 4.33. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za sinusni valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 2.2V



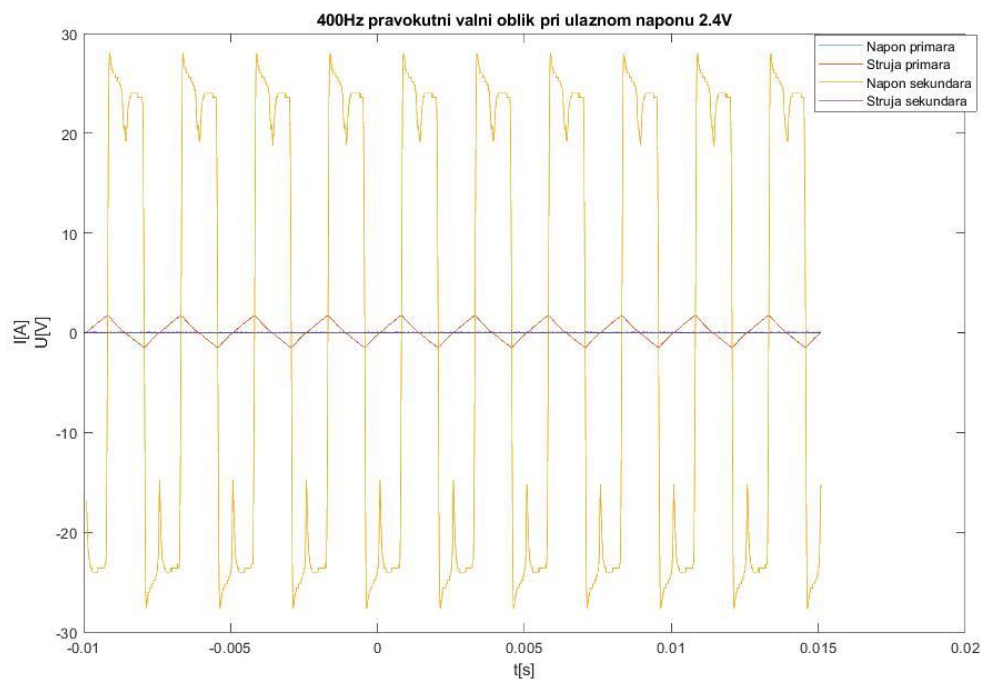
Slika 4.34. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za sinusni valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 4.6V

Mjerenja za sinusni valni oblik pri frekvenciji 400Hz rađena su povećavanjem ulaznog napona funkcijskog generatora od 0.2V do 4.6V u koracima od 0.2V te su za prikaz izabrana mjerenja pri naponima 0.2V, 2.2V i 4.6V.

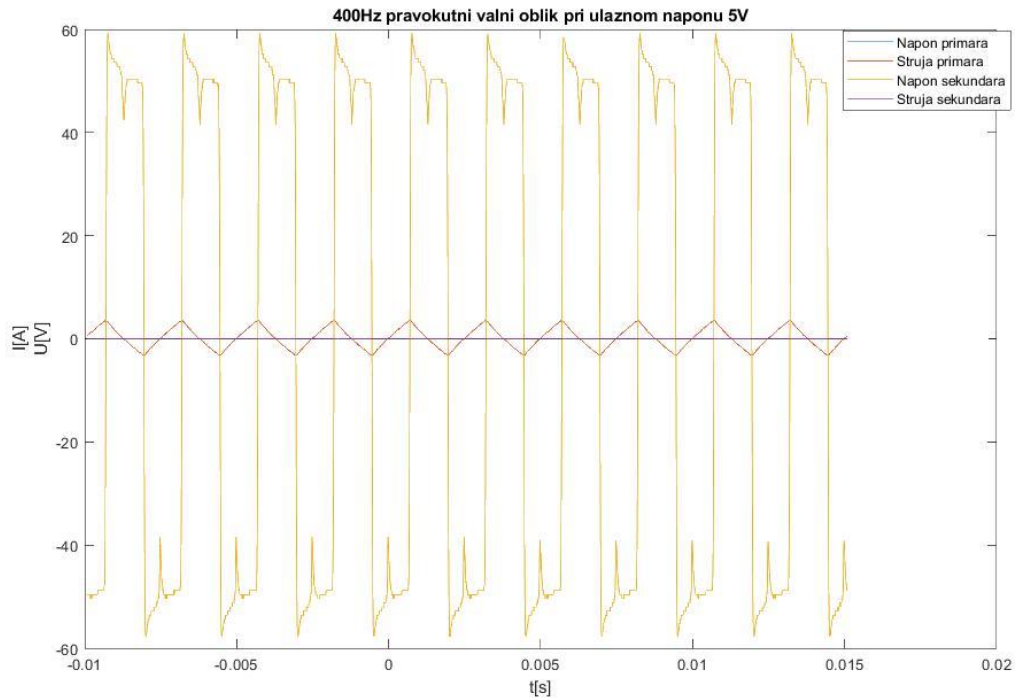
4.2.5. Mjerenja za pravokutni valni oblik pri frekvenciji 400Hz



Slika 4.35. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za pravokutni valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 0.3V



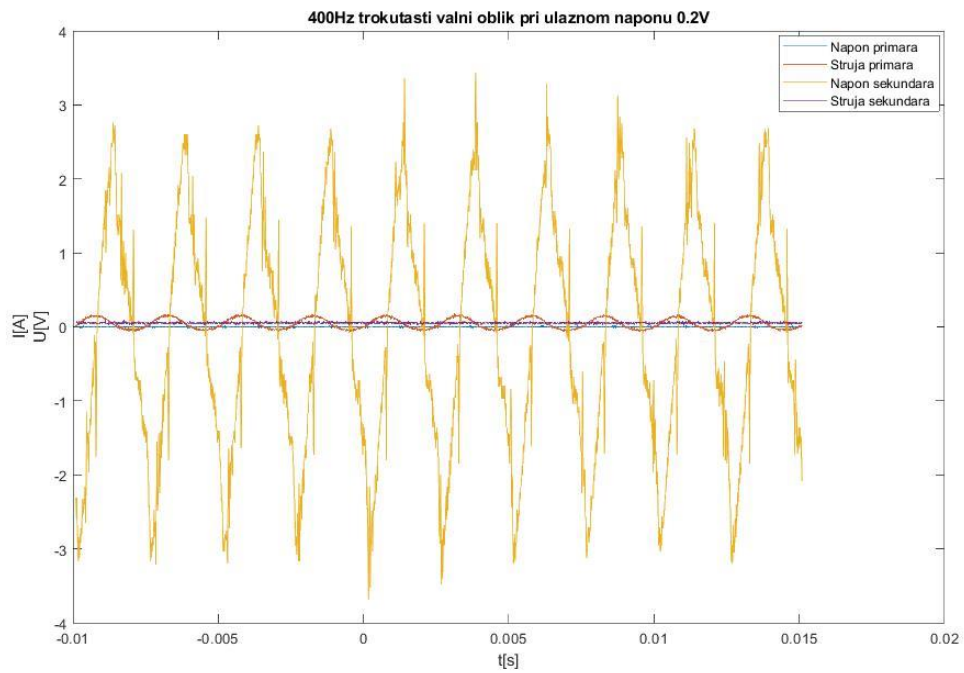
Slika 4.36. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za pravokutni valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 2.4V



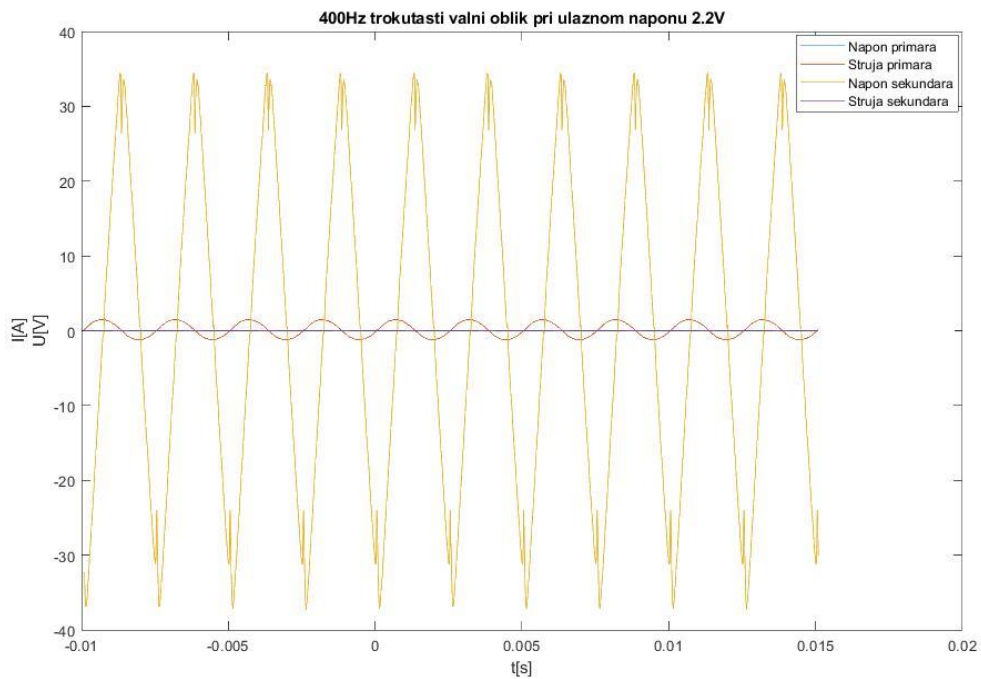
Slika 4.37. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za pravokutni valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 5V

Mjerenja za pravokutni valni oblik pri frekvenciji 400Hz rađena su povećavanjem ulaznog napona funkcijskog generatora od 0.3V do 5V u koracima od 0.2V te su za prikaz izabrana mjerenja pri naponima 0.3V, 2.4V i 5V.

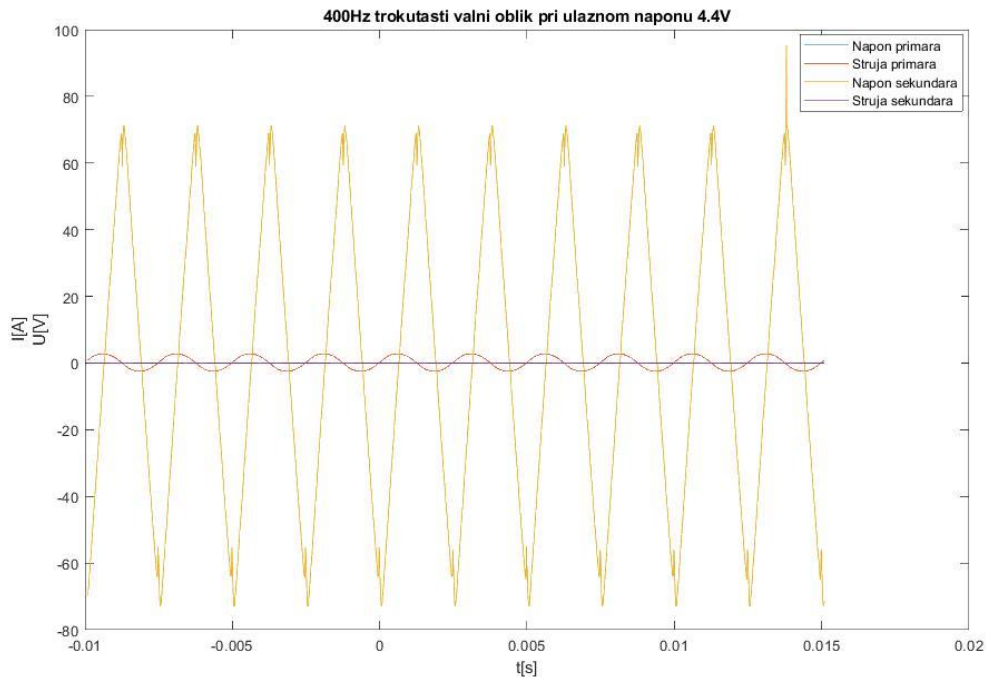
4.2.6. Mjerenja za trokutasti valni oblik pri frekvenciji 400Hz



Slika 4.38. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za trokutasti valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 0.2V



Slika 4.39. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za trokutasti valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 2.2V



Slika 4.40. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za trokutasti valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 4.4V

Mjerenja za trokutasti valni oblik pri frekvenciji 400Hz rađena su povećavanjem ulaznog napona funkcijskog generatora od 0.2V do 4.4V u koracima od 0.2V te su za prikaz izabrana mjerenja pri naponima 0.2V, 2.2V i 4.4V

4.2.7. Komentari na mjerenja

Kod mjerenja za frekvenciju 50Hz za sinusni, pravokutni i trokutasti valni oblik pri početku mjerenja se vidi da ima znatna količina šuma. Povećanjem ulaznog napona smanjuje se količina šuma te se dobiva uredniji graf. Struja sekundara je ograničena otporom te je 12 puta manja od struje primara, dok je napon sekundara 12 puta veći od ulaznog napona. Razlog toga je prijenosni omjer transformatora s feritnom jezgrom koji je 1:12.

Kod mjerenja za frekvenciju 400Hz za sinusni, pravokutni i trokutasti valni oblik pri početku mjerenja se vidi da ima šuma, no za razliku od mjerenja pri frekvenciji 50Hz, vidi se da je količina šuma iako primjetna, manja od količine šuma pri početku mjerenja pri frekvenciji 50Hz. Povećanjem ulaznog napona smanjuje se količina šuma te se dobiva uredniji graf. Struja sekundara je ograničena otporom te je 12 puta manja od struje primara, dok je napon sekundara 12 puta veći od ulaznog napona. Razlog toga je prijenosni omjer transformatora s feritnom jezgrom koji je 1:12.

5. ZAKLJUČAK

Cilj završnog rada bio je snimanje valnih oblika struje i napona zavojnice s pomoću osciloskopa. Snimanje je rađeno za torusnu jezgru od trafo limova i za ogrnutu jezgru od feritnog materijala. Poticaj je sinusni, trokutasti i pravokutni valni oblik pri frekvencijama 50Hz i 400Hz. Iz rađenih mjerenja primjećuje se znatna količina šuma kod niskih razina ulaznog napona te da se povećanjem napona smanjuje količina šuma i dobiva se uredniji graf. Isto vrijedi i za povećanje frekvencije, odnosno, povećanjem frekvencije sa 50Hz na 400Hz, iz mjerenja pri niskim razinama napona vidi se da pri većoj frekvenciji ima znatno manje šuma, tj. povećanjem frekvencije se dobiva uredniji graf.

Na temelju izmjerenih podataka može se uočiti da je prijenosni omjer transformatora s torusnom jezgrom 1:10, također se primjećuje da je šum izraženiji pri nižim vrijednostima primarnog napona, npr. ako je raspon primarnog napona bio 0.2V do 4.4V tada je šum pri najmanjem naponu bio relativno velik u odnosu na signal. Idealan transformator ima jednaku snagu na ulazu i izlazu, što znači da ako je napon sekundara 10 puta veći od napona primara, tada struja sekundara mora biti 10 puta manja od struje primara kako bi se očuvala snaga.

Na temelju izmjerenih podataka može se uočiti da je prijenosni omjer transformatora s feritnom jezgrom 1:12, također se primjećuje da je šum izraženiji pri nižim vrijednostima primarnog napona, npr. ako je raspon primarnog napona bio 0.3V do 5V tada je šum pri najmanjem naponu bio relativno velik u odnosu na signal.

Literatura:

- [1] ET SYSTEM, <https://www.et-system.de/en/produkte/ac-sources/ac-sources-linear.html>, datum pristupa: 14.09.2018.
- [2] Tektronix, <https://uk.tek.com/datasheet/tds200-series>, datum pristupa: 14.09.2018.
- [3] Chauvin Arnoux Metrix, <http://www.chauvin-arnoux.com/en/produit/e3n.html>, datum pristupa: 14.09.2018.
- [4] Tektronix, <https://uk.tek.com/datasheet/passive-voltage-probe-1x-10x>, datum pristupa: 14.09.2018.
- [5] Colonel WM.T.McLyman, Transformer and Inductor Design Handbook, Third Edition, Revised and Expanded, Kg Magnetics, Inc., Idyllwild, California, 2004.
- [6] Toroid d.o.o., <http://www.toroid.hr/main.php?content=trafos>, datum pristupa: 14.09.2018.

Popis slika:

Slika 2.1. Shema spoja	2
Slika 2.2. Funkcijski generator ET System EAC[1]	2
Slika 2.3. Tektronix TDS 224 osciloskop	3
Slika 2.4. Strujna kliješta E3N[3].....	4
Slika 2.5. Amplitudno-frekvencijska karakteristika[3]	6
Slika 2.6. Fazno-frekvencijska karakteristika[3].....	6
Slika 2.7. Naponska sonda P2221[4]	6
Slika 3.1. Magnetsko polje generirano strujom kroz ravni vodič[5].....	8
Slika 3.2. Magnetska polja generirana oko razmaknutih vodiča[5].....	9
Slika 3.3. Magnetska polja generirana oko susjednih vodiča[5].....	9
Slika 3.4. Zavojnica sa zračnom jezgrom sa istosmjernom uzбудom[5].....	9
Slika 3.5. Odnos B i H sa istosmjernom uzбудom[5]	9
Slika 3.6. Zavojnica sa zračnom jezgrom sa izmjeničnom uzбудom[5].....	10
Slika 3.7. Odnos B i H sa izmjeničnom uzбудom[5].....	10
Slika 3.8. Transformator[5]	10
Slika 3.9. Emitiranje magnetskog toka uzdužne zavojnice sa zračnom jezgrom[5]	11
Slika 3.10. Magnetska jezgra[5].....	11

Slika 3.11. Uzbuđena magnetska jezgra dovedena do zasićenja[5]	11
Slika 3.12. Krivulja magnetiziranja[5]	12
Slika 3.13. Magnetska jezgra bez uzbuđenja[5]	12
Slika 3.14. Magnetska jezgra sa malim uzbuđenjem[5]	12
Slika 3.15. Magnetska jezgra sa velikim uzbuđenjem[5]	13
Slika 3.16. Jezgra okružuje zavojnicu[5]	13
Slika 3.17. Zavojnica okružuje jezgru[5]	13
Slika 3.18. Konfiguracije torusne jezgre[5]	14
Slika 4.1. Shema spoja	15
Slika 4.2. Radno mjesto	15
Slika 4.3. Torusna jezgra korištena za mjerenje	16
Slika 4.4. Feritna jezgra korištena za mjerenje	16
Slika 4.5. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za sinusni valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 0.2V	16
Slika 4.6. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za sinusni valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 2.2V	17
Slika 4.7. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za sinusni valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 4.4V	17
Slika 4.8. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za pravokutni valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 0.1V	18
Slika 4.9. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za pravokutni valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 1.9V	19
Slika 4.10. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za pravokutni valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 3.9V	19
Slika 4.11. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za trokutasti valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 0.2V	20
Slika 4.12. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za trokutasti valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 2.4V	21
Slika 4.13. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za trokutasti valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 4.8V	21
Slika 4.14. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za sinusni valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 0.4V	22
Slika 4.15. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za sinusni valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 3.6V	23

Slika 4.16. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za sinusni valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 7V	23
Slika 4.17. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za pravokutni valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 0.2V	24
Slika 4.18. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za pravokutni valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 1.4V	25
Slika 4.19. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za pravokutni valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 3V	25
Slika 4.20. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za trokutasti valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 1.2V	26
Slika 4.21. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za trokutasti valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 3V	27
Slika 4.22. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za trokutasti valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 5V	27
Slika 4.23. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za sinusni valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 0.1V	29
Slika 4.24. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za sinusni valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 0.4V	29
Slika 4.25. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za sinusni valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 0.9V	30
Slika 4.26. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za pravokutni valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 0.1V	31
Slika 4.27. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za pravokutni valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 0.5V	31
Slika 4.28. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za pravokutni valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 1V	32
Slika 4.29. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za trokutasti valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 0.1V	33
Slika 4.30. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za trokutasti valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 0.4V	33
Slika 4.31. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za trokutasti valni oblik uz frekvenciju 50Hz pri ulaznom naponu 0.9V	34
Slika 4.32. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za sinusni valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 0.2V	35

Slika 4.33. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za sinusni valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 2.2V	35
Slika 4.34. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za sinusni valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 4.6V	36
Slika 4.35. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za pravokutni valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 0.3V	37
Slika 4.36. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za pravokutni valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 2.4V	37
Slika 4.37. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za pravokutni valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 5V	38
Slika 4.38. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za trokutasti valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 0.2V	39
Slika 4.39. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za trokutasti valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 2.2V	39
Slika 4.40. Valni oblici struje i napona primara i sekundara za trokutasti valni oblik uz frekvenciju 400Hz pri ulaznom naponu 4.4V	40

Popis tablica

Tablica 2.1. Električne karakteristike[3]	5
Tablica 2.2. Specifikacije[4]	7

Sažetak

U završnom radu je rađeno snimanje valnih oblika struje i napona zavojnice za različite valne oblike (sinusni, pravokutni i trokutasti) i za karakteristične frekvencije (50Hz i 400Hz). Na početku rada opisan je strujni krug i mjerni instrumenti korišteni za snimanje valnih oblika struje i napona zavojnice. Nakon toga su opisane osnove magnetizma i vrste magnetskih jezgri koje su korištene za mjerenje. Zatim su prikazana mjerenja dobivena snimanjem valnih oblika struje i napona zavojnice.

Ključne riječi: magnetizam, magnetska jezgra, permeabilnost, torusna jezgra, feritna jezgra, frekvencija, napon, struja

Abstract

In the final thesis waveforms of coil currents and coil voltages for different waveforms (sinusoidal, rectangular and triangular) and for characteristic frequencies (50Hz and 400Hz) have been recorded. At the beginning of the thesis, the circuit, and measuring instruments used for recording waveforms of coil currents and coil voltages are described. Subsequently, the basics of magnetism and the types of magnetic cores used for the measurement are described. The measurements obtained by recording waveforms of the coil currents and coil voltages are then shown.

Key words: magnetism, magnetic core, permeability, toroidal core, ferrite core, frequency, voltage, current

Životopis

Dominik Jurak rođen je 14. ožujka 1996. u Osijeku. Pohađao je Osnovnu školu „Vijenac“ u Osijeku, gdje zatim upisuje „Elektrotehniču i prometnu školu Osijek“. Nakon završene srednje škole 2014. upisuje preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Na 2. godini studija se opredjeljuje za smjer elektroenergetika.

Govori engleski jezik. Tijekom obrazovanja stekao je znanja za rad s Microsoft office paketom. Tijekom studiranja sudjelovao je na natjecanjima iz košarke.

Nakon završetka preddiplomskog sveučilišnog studija namjera mu je upisati diplomski sveučilišni studij elektrotehnike u Osijeku.

U Osijeku 19. rujna 2018.

Dominik Jurak

Potpis: