

# Izrada nastavne makete trofaznog asinkronog kaveznog motora za proučavanje ekscentričnosti

---

**Maganjić, Deni**

**Master's thesis / Diplomski 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:200:608176>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-27**

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Sveučilišni studij**

**IZRADA NASTAVNE MAKETE TROFAZNOG**  
**ASINKRONOG KAVEZNOG MOTORA ZA**  
**PROUČAVANJE EKSCENTRIČNOSTI**

**Diplomski rad**

**Deni Maganjić**

Osijek, 2018.

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

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Osijek, 21.09.2018.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada**

<b>Ime i prezime studenta:</b>	Deni Maganjić
<b>Studij, smjer:</b>	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
<b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>	D 943, 28.09.2017.
<b>OIB studenta:</b>	02391901283
<b>Mentor:</b>	Izv.prof.dr.sc. Željko Hederić
<b>Sumentor:</b>	Tin Benšić
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Predsjednik Povjerenstva:</b>	Izv. prof. dr. sc. Marinko Barukčić
<b>Član Povjerenstva:</b>	Izv.prof.dr.sc. Tomislav Barić
<b>Naslov diplomskog rada:</b>	Izrada nastavne makete trofaznog asinkronog kaveznog motora za proučavanje ekscentričnosti
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektrostrojarstvo (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak diplomskog rada:</b>	Dijagnostika elektromotornog pogona sa asinkronim kaveznim motorom ima veliku važnost, jer su takvi elektromotorni pogoni danas među najzastupljenijima u industriji. Cilj rada je izrada nastavne makete za potrebe laboratorija za električne strojeve na kojoj bi studenti mogli proučavati probleme kvarova uzrokovanih ekscentričnim položajem rotora.
<b>Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):</b>	Vrlo dobar (4)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 1 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
<b>Datum prijedloga ocjene mentora:</b>	21.09.2018.
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, 04.12.2018.

Ime i prezime studenta:	Deni Maganjić
Studij:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. studenta, godina upisa:	D 943, 28.09.2017.
Ephorus podudaranje [%]:	8%

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Izrada nastavne makete trofaznog asinkronog kaveznog motora za proučavanje ekscentričnosti**

izrađen pod vodstvom mentora Prof. dr. sc. Željko Hederić

i sumentora Tin Benšić

mog 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:

<b>1. UVOD</b> .....	<b>2</b>
1.1 OPIS ZADATKA DIPLOMSKOG RADA .....	3
<b>2. TROFAZNI ASINKRONI MOTORI</b> .....	<b>4</b>
2.1. STATOR I ROTOR ASINKRONOG MOTORA .....	5
2.2. KAVEZNI ROTOR .....	6
2.3. KVAROVI ASINKRONIH STROJEVA.....	7
2.4. PODJELA PREMA IZVORU KVARA.....	7
2.5. POJEDINAËNA ANALIZA NAJËEŠËIH KVAROVA .....	9
<b>3. LEŽAJNE STRUJE I EKSCENTRIËNOST</b> .....	<b>11</b>
3.1. UZROCI NASTAJANJA LEŽAJNIH STRUJA.....	11
3.2. PREPOZNAVANJE DJELOVANJA OSOVINSKIH I LEŽAJNIH STRUJA .....	13
3.3. EKSCENTRIËNI POMAK ROTORA .....	15
3.3.1. <i>StatiËka ekscentriËnost</i> .....	16
3.3.2. <i>DinamiËka ekscentriËnost</i> .....	17
<b>4. PRIKAZ SKIDANJA LEŽAJNOG ŠTITA</b> .....	<b>19</b>
<b>5. PRAKTIËNI DIO</b> .....	<b>26</b>
5.1 SPEKTRALNA ANALIZA STATORSKIH STRUJA(MCSA).....	27
5.2. NOVI LEŽAJNI ŠTIT .....	28
5.3. MJERNA OPREMA.....	29
5.4. MJERENJE I ANALIZA REZULTATA.....	31
5.5 ANALIZA FREKVENCIJSKOG SPEKTRA FAZA STRUJA .....	37
5.6. ANALIZA FREKVENCIJSKOG SPEKTRA NAPONA.....	44
<b>6. ZAKLJUËAK</b> .....	<b>45</b>
<b>7.ŽIVOTOPIS</b> .....	<b>46</b>
<b>8.POPIS KORIŠTENE LITERATURE:</b> .....	<b>47</b>
<b>9.SAŽETAK</b> .....	<b>48</b>

# 1. UVOD

Električni strojevi vrše pretvorbu energije iz električne u mehaničku te iz mehaničke u električnu. Ovisno o smjeru pretvorbe razlikujemo generatore koji pretvaraju mehaničku u električnu i motore koji rade obrnutu vrstu pretvorbe energije. Dijelimo ih na istosmjerne (DC) te sinkrone i asinkrone strojeve. Sinkronim motorima brzina vrtnje rotora jednaka je brzini okretanja magnetskog polja, kojeg stvaraju statorske struje. Kod asinkronih motora brzina vrtnje rotora uvijek kasni za okretanjem magnetskog polja statora. Posljednji spomenuti danas su najčešće korištena vrsta motora prvenstveno zbog prihvatljive cijene i robusnosti. Kada dođe do kvara na motoru i kada ispadne iz pogona, to u većini slučajeva uzrokuje velike materijalne gubitke. Mehaničke komponente električnog motora često su izložene povećanom trošenju i mehanički kvarovi su najčešći kvarovi električnih motora. Kada se odabire stroj potrebno je poznavati uvjete u kojima će raditi te izbor stroja prilagoditi tomu i samim time smanjiti pojavu kvarova. Istraživanja pokazuju kako više od dvije trećine kvarova motora započinju kvarovima ležaja, a petina kvarova u statorskim namotajima. Jedan od problema iz kojega dalje potječu ostale vrste kvarova je ekscentričnost rotora. Ekscentrični položaj rotora u provrtu statora uz magnetske nesimetrije je jedan od dva osnovna uzroka nastanka osovinskih struja. Kako i zašto nastaje te koje su vrste ekscentričnosti opisano je u radu. Praktični dio ovoga diplomskog rada bio je izraditi novi ležajni štiti koji će omogućavati ekscentričnost rotora, te mjerenjima pokazati kako se to odražava na stroj i na spektar struja. Cijeli postupak od samog skidanja ležajnog štita do izrade novog i mjerenja detaljno su opisani u radu. Trofazni asinkroni motor s postojećim novim ležajnim štitiom nadalje će poslužiti kao nastavna maketa studentima FERIT-a u Osijeku na laboratorijskim vježbama u narednim godinama. Predmet istraživanja ovoga diplomskog rada su i ležajne struje za koje ću dati detaljne opise kada i kako nastaju i pokazati na raznim primjerima njihovo, za motor, štetno djelovanje.

## **1.1. Opis zadatka diplomskog rada**

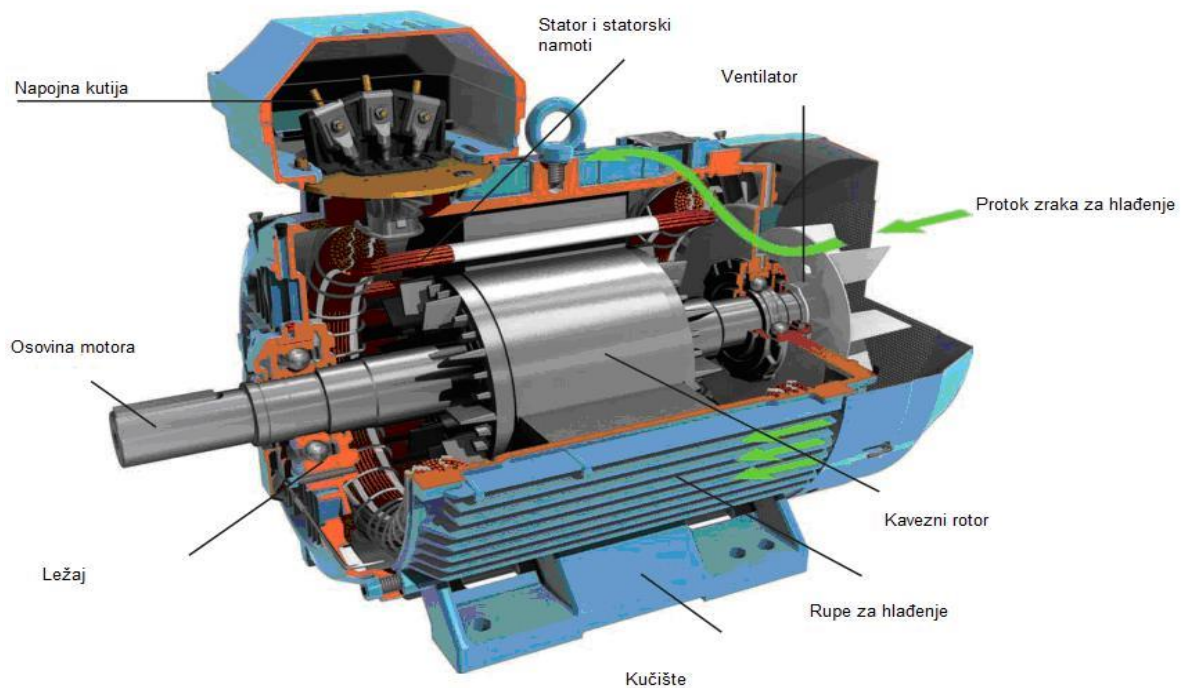
Dijagnostika elektromotornog pogona sa asinkronim kaveznim motorom ima veliku važnost, jer su takvi elektromotorni pogoni danas među najzastupljenijima u industriji. Cilj rada je izrada nastavne makete za potrebe laboratorija za električne strojeve na kojoj bi studenti mogli proučavati probleme kvarova uzrokovanih ekscentričnim položajem rotora.

## 2. TROFAZNI ASINKRONI MOTORI

Trofazni asinkroni motori smatraju se za najpouzdanije električni strojeve. Ova vrsta motora nalazi svoju primjenu u većini različitih industrijskih sektora, kao što su: prehrambena, kemijska, metalurška industrija, tvornice papira i slično. Iz gore navedenih razmatranja lako se može zaključiti kako su trofazni asinkroni motori najrašireniji električni strojevi industrijske primjene (potrošnja električne energije elektromotora je oko 75% ukupne potrošnje ukupne potrošnje u industriji). [1] Naziv asinkroni motor dobiven je jer je brzina vrtnje rotora različita od brzine okretanja statorskog polja. Rotor asinkronog motora uvijek se vrti brzinom koja je manja od brzine okretanja okretnog magnetskog polja statora, tj. brzinom manjom od sinkrone. Slovom „s“ označavamo klizanje koje predstavlja mjeru zaostajanja brzine vrtnje rotora za brzinom vrtnje okretnim mag. poljem statora. Računamo ga prema izrazu (2-1).

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (2-1)$$

gdje je:  $s$  klizanje,  $n_s$  brzina okretanja statorskog polja,  $n$  brzina okretanja rotora. Na slici 2.1. prikazan je trofazni asinkroni motor i njegovi osnovni dijelovi.

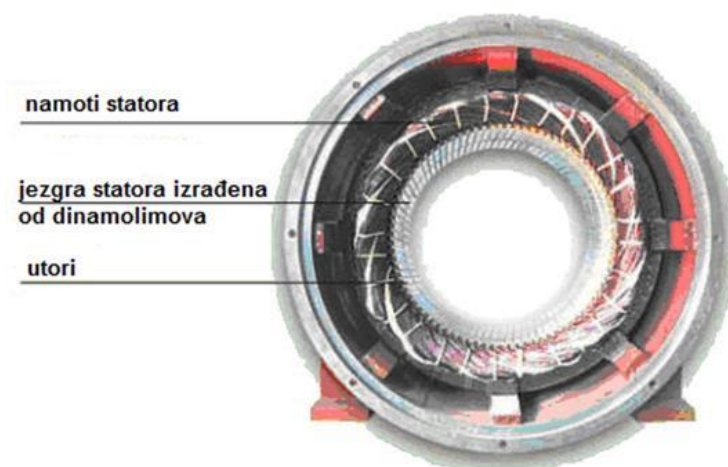


**Slika 2.1.** Trofazni asinkroni motor [1]



## 2.1. Stator i rotor asinkronog motora

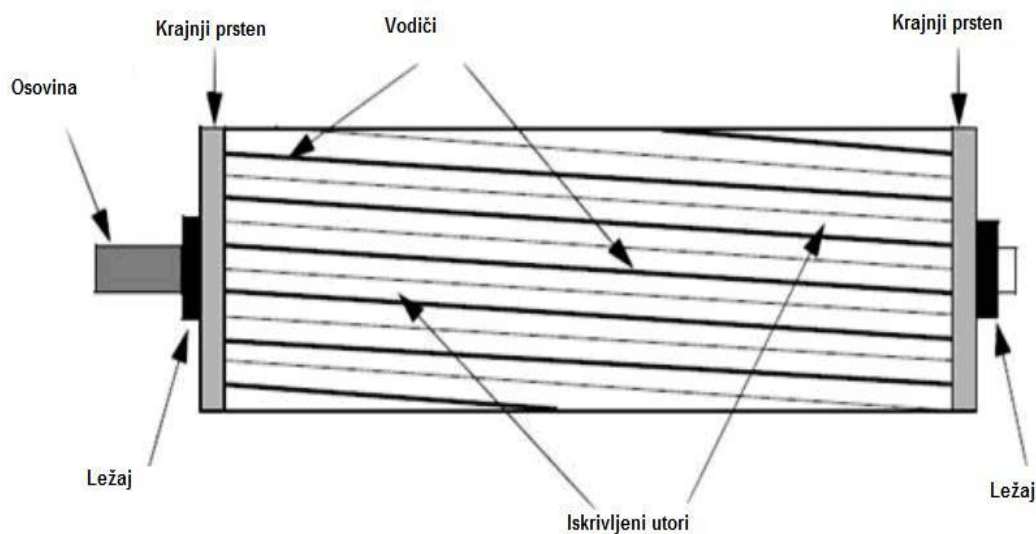
Osnovni dijelovi statora asinkronog stroja su statorski paket i statorski namot. Stator je načinjen od namota i željezne jezgre, a nalazi se u kućištu zbog mehaničkog učvršćenja. Na osovinu je pričvršćen rotor koji također čine namoti i željezna jezgra. Između statora i rotora nalazi se zračni raspor. Veza između kućišta i rotirajućih dijelova stroja ostvaruje se preko ležajeva i ležajnih štitova. Prema izvedbi rotorskog namota asinkroni motori dijele se na klizno-kolutne i kavezne strojeve. Najčešći oblik asinkronih motora su kavezni asinkroni motori. Razlog tome nazivu je vrsta rotora koja se koristi u tim motorima. Gotovo 95% asinkronih motora koji se koriste su ovoga tipa. Svaki asinkroni motor ima stator i rotor. Konstrukcija statora je gotovo jednaka za svaku vrstu indukcijskih motora, ali konstrukcija rotora može se razlikovati. Stator je vanjski sastavni dio motora koji možemo vidjeti (Sl.2.2.). Može se izraditi za jednofazne, dvofazne, trofazne ili čak za višefazne motore. U osnovi se razlikuju samo zavojnice na statoru, a ne osnovni izgled statora. [1]



*Slika 2.2. Stator asinkronog motora [1]*

## 2.2. Kavezni rotor

Princip rada asinkronog motora bazira se na induciranim naponima koji uzrokuju struje u štapovima (kratko spojenih pomoću prstenova u zatvoreni strujni krug) čime se onda stvara potreban zakretni moment motora. Ova vrsta rotora sastoji se od cilindrične laminirane jezgre s paralelnim prorezima za nošenje vodiča rotora, koji nisu žice, već štapovi od bakra, aluminija ili njihovih legura. Štapovi vodiča postavljeni su s jednog kraja rotora u svaki utor. Postoje prsteni na krajevima koji su zavareni ili čak zakovani na oba kraja rotora čime se održava električna vodljivost. Krajnji prsteni su kratko spojeni, pa se dobije oblik sličan kavezu po čemu je ovakav tip motora i dobio ime. Važno je napomenuti da su krajnji prsteni i štapovi kratko spojeni, stoga nije moguće dodati vanjski otpor u seriju. Rotorski štapovi nisu paralelni s osovinom, a namjerno su lagano zakrenuti u cilju smanjenja vibracija. Za male motore rotor se izrađuje na drugačiji način. Cijela jezgra rotora nalazi se u kalupu, a štapovi i prsteni su izliveni u jednom komadu. Slika 2.3. prikazuje kavezni rotor. [2]



**Slika 2.3.** Izgled kaveznog rotora [2]

Također osim kaveznog asinkronog motora postoje i kolutni asinkroni motor. Za takvu vrstu motora karakteristični su klizni koluti i četkice. Kako je stroj koji koristimo u ovom diplomskom radu kavezni asinkroni motor, kolutne asinkrone motore ostaviti ćemo ga za neka daljnja razmatranja.

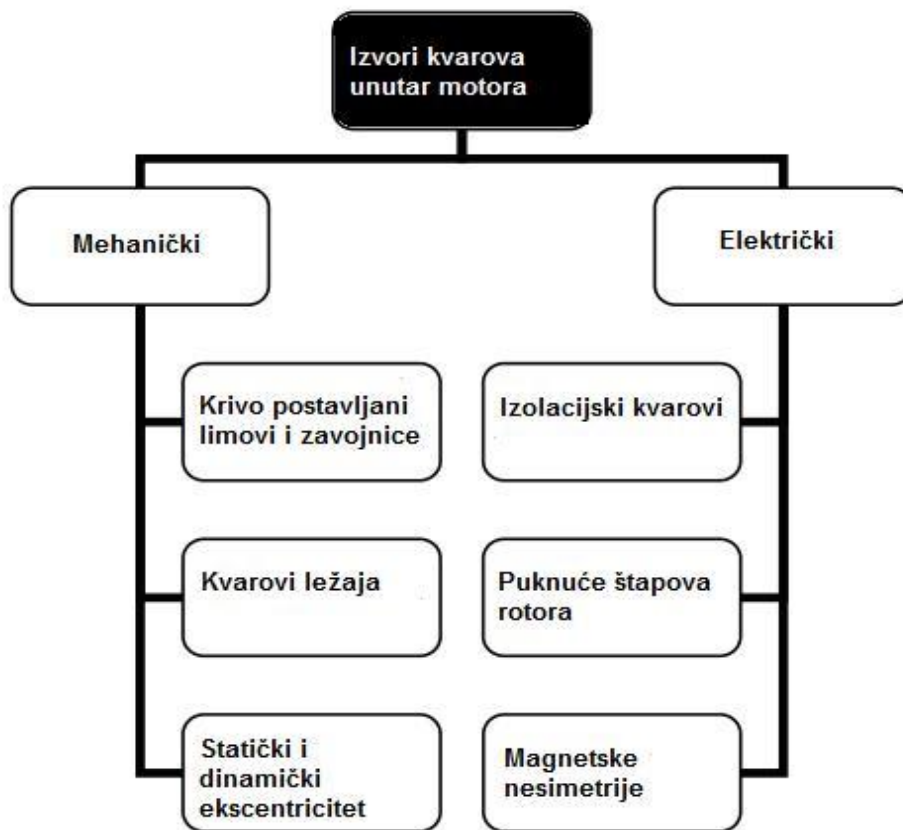
### 2.3. Kvarovi asinkronih strojeva

Brojni kvarovi asinkronih motora dolaze ljudskom greškom u vidu krivog odabira motora za određeni pogon. U koliko se odabere stroj koji nema dovoljnu snagu za pokretanje određenog dijela pogona ili pak nema adekvatnu zaštitu, to često vodi ka raznim kvarovima. Kako bi odabrali stroj koji je prikladan za pogon potrebno je prethodno poznavanje uvjeta u kojima će stroj raditi.

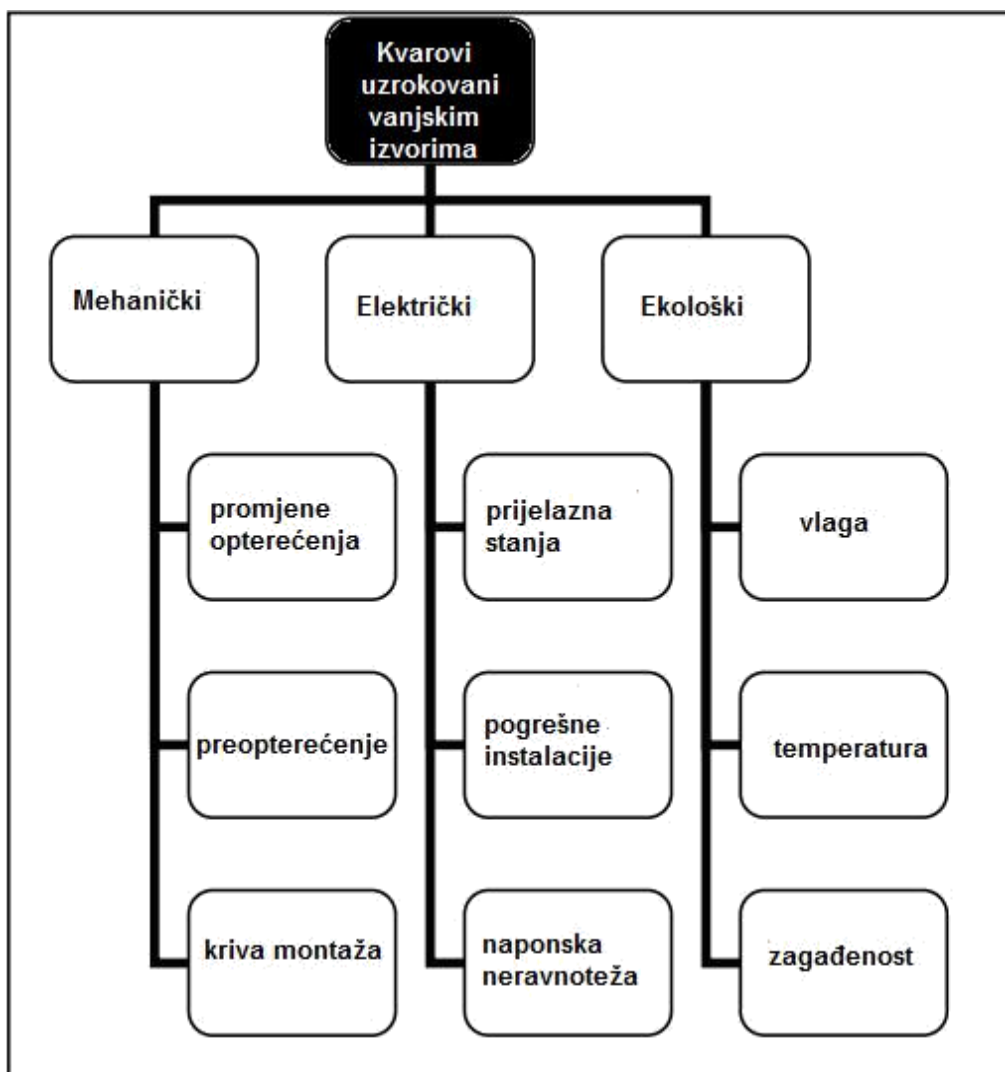
### 2.4. Podjela prema izvoru kvara

Prema izvoru kvara, kvarovi električnih motora mogu se podijeliti na:

- Kvarove unutar motora (Sl.2.4.)
- Kvarove uzrokovane vanjskim izvorom (Sl.2.5.)



Slika 2.4. Prikaz mogućih kvarova unutar motora



Slika 2.5. Prikaz mogućih kvarova uzrokovanih vanjskim izvorima

## 2.5. Pojedinačna analiza najčešćih kvarova

Pojedinačna analiza prema vrsti kvarove svodi u četiri grupe:

- Kvarovi ležaja
- Kvarovi paketa statora
- Kvarovi paketa rotora
- Kvarovi uzrokovani ekscentritetom

**Kvarovi ležaja:** Općenito, ležaj je raspored dvaju koncentričnih prstenova, gdje su elementi za valjanje, kuglice ili cilindri smješteni unutar prstena. Kvarovi ležajeva mogu biti razni: pukotine, neusklađenost, valovitost, hrapavost i slično.

U literaturi [3] navodi se kako kvarovi ležaja spadaju u najčešće kvarove električnih motora(41%) , a slijede ih kvarovi statorskog paketa (37%) i kvarovi rotorskog paketa (10%).

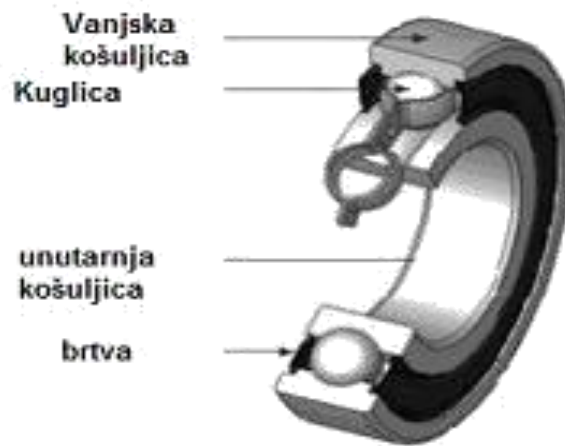
Mogu se podijeliti u tri grupe:

- a) oštećenje unutrašnje košuljice ležaja
- b) oštećenje vanjske košuljice ležaja
- c) oštećenje kuglice

- 1) Termička naprezanja: toplina koja se provodi od osovine rotora može dovesti do velike temperature ležaja; uzrokuje abnormalno trenje i eventualni kvar ležaja.
- 2) Mehanička naprezanja: vibracije osovine rotora mogu dovesti do kvara ležaja, osobito za velike strojeve zbog velikog momenta.
- 3) Električna naprezanja: napon osovine može dovesti do ležajne struje i pogoršati podmazivanje ležaja. [4]

Ležaj je sastavljen od četiri dijela: unutarnja košuljica, vanjska košuljica, kuglice i brtve.

Svaki element ležaja ima svoju karakterističnu frekvenciju.



**Slika 2.6.** Prikaz kugličnog ležaja sa sastavnim dijelovima [5]

**Kvarovi statora:** Većina kvarova statora kao izvor ima temperaturne i električne šokove ili kritične okolišne uvjete. [4]

**Kvarovi rotora:** Kvarovi kaveza rotora uzrokuju otprilike 5-10% kvarova asinkronih motora. Kod motora većih motora kvarovi se češće pojavljuju zbog toplinskih naprezanja rotora.

Uzrok loma štapa rotora može biti uzrokovan sljedećim razlozima:

- 1) toplinska naprezanja uslijed termičkog preopterećenja; pregrijavanje kotača rotora može uzrokovati toplinsku ekspanziju i na taj način mehanička naprezanja.
- 2) magnetska naprezanja uzrokovana elektromagnetskim silama,
- 3) dinamička naprezanja zbog zakretnih momenata.
- 4) Naprezanja u okolišu zbog kontaminacije
- 5) Mehanička naprezanja uslijed labavih lamela, itd. [4]

Kvar kaveza rotora također može dovesti do vibracija osovine motora, a to opet vodi do kvarova ležaja i pojave ekscentričnosti [4]. Iz toga zaključujemo kako je rano otkrivanje kvara u paketu rotora važno ne samo radi zaštite rotora nego zbog reduciranja ostalih kvarova motora.

**Kvarovi uzrokovani ekscentritetom:** Ekscentričnost u električnim strojevima povezana je s promjenom zračnog rasporeda. Neki uzroci ovog fenomena mogu biti: savijena osovina, trošenje ležajeva, mehaničke vibracije ili rezonancija. Ekscentričnost može biti dinamička i statička, a u pojedinoj literaturi spominje se i kombinacija ove dvije vrste ekscentričnosti. Više o tome opisano je u poglavlju 3.

### 3. LEŽAJNE STRUJE I EKSCENTRIČNOST

Prema [6] osovinski naponi i osovinske struje ili ležajne struje poznate su i proučavane na sinkronim i asinkronim strojevima prije više od stoljeća. Visokofrekvencijske ležajne struje i osovinski naponi djeluju erozivno na košuljice ležaja i uništavaju ih što dalje može dovesti do većih oštećenja i na kraju do većih kvarova strojeva, a samim time i materijalnih gubitaka bilo za popravak postojećeg ili kompletne zamjene motora. Osovinski naponi uzrokuju ležajne struje, a one oštećuju komponente strojeva ležajevе, osovinu, zupčanike, spojke.

#### 3.1. Uzroci nastajanja ležajnih struja

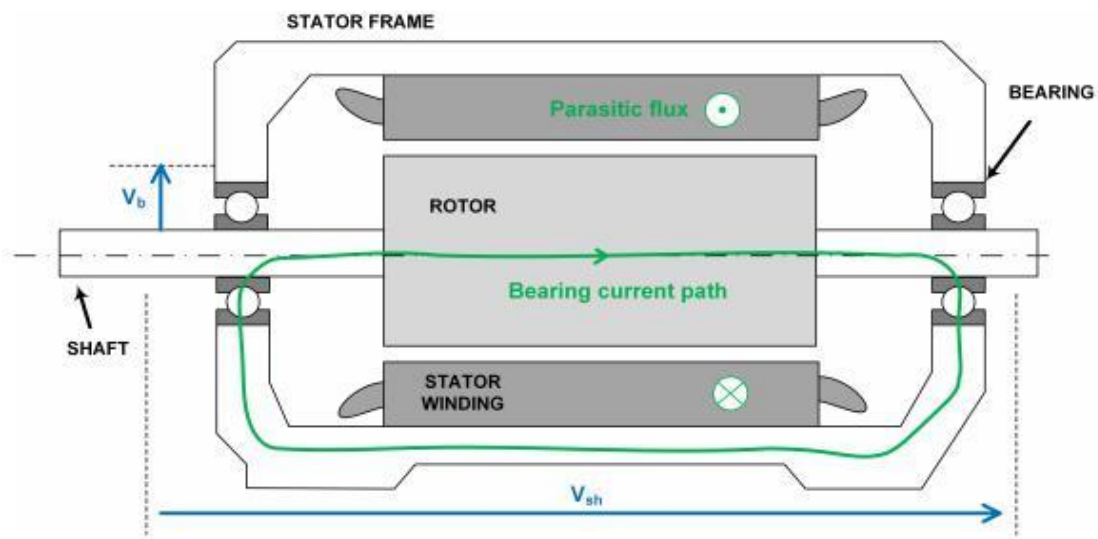
Uzroci nastajanja ležajnih struja i osovinskih tokova su različiti. Promatranje ležajnih (osovinskih) struja koje uzrokuju osovinski naponi i osovinskih tokova koji uzrokuju te osovinske napone, može se postići promatranjem uzroka nastajanja osovinskih napona. Razni su uzroci, a mogu se podijeliti na nekolicinu osnovnih kao što su: magnetske nesimetrije, kružni osovinski tok, elektrostatski naboj i vanjski naponi na rotorskom namotaju. [7]

Pojave osovinskih napona i struja kroz ležajevе i druge dijelove u dodiru s osovinom, postaju opasnije kako se povećavaju dimenzije i snaga motora. Napone uzduž osovine može prouzrokovati promjenjivi (izmjenični) magnetski tok koji obuhvaća osovinu, tok kroz osovinu te pad napona koji se javlja zbog protjecanja struje kroz osovinu. Tok koji obuhvaća osovinu može se pojaviti iz više razloga:

- nesimetrični režimi rada (dozemni i nesimetrični kratki spoj)
- ekscentričnost rotora u statoru (nejednak zračni raspor po obodu),
- nejednaka magnetska vodljivost rotorskog paketa (magnetskog kruga),
- nejednaka magnetska vodljivost statorskog paketa-kod višedijelnih statora, nejednaki zračni raspori segmenata statorskih limova [7].

Poznato je da unutar pogona mogu postojati četiri potencijalna tipa osovinskih napona koji mogu nastati iz više izvora, a to nadalje rezultira pojavom osovinskih struja. Jedan ili više izvora mogu biti prisutni na stroju pa je potrebno pažljivo izvršiti mjerenja. Termin napon na osovini ponekad može biti zbunjujući u radovima i člancima. Potrebno je razlikovati „shaft end-to-end voltage“ koji se označava sa  $v_{sh}$  koji označava napon osovine i „shaft-to-frame voltage“ koji označava ležajni napon  $v_b$ . Ukazuje na razliku potencijala između unutarnje i vanjske strane ležaja. [8]

Neuravnotežena magnetska polja uzrokovana projektiranjem, proizvodnjom detalja kao što su aksijalne rupice za hlađenje u statoru ili rotoru, spojevi između dijelova statora, permeabilnost, rotorski ekscentricitet, može uzrokovati magnetski tok koji obuhvaća osovinu. Takvi izmjenični naponi su inducirani u osovini i mogu uzrokovati protjecanje struje u krugu kućište statora-prvi ležaj-rotorska osovina-drugi ležaj (Sl.3.1.). [8]



**Slika 3.1.** Tok ležajne struje uzrokovan magnetskom nesimetrijom [8]



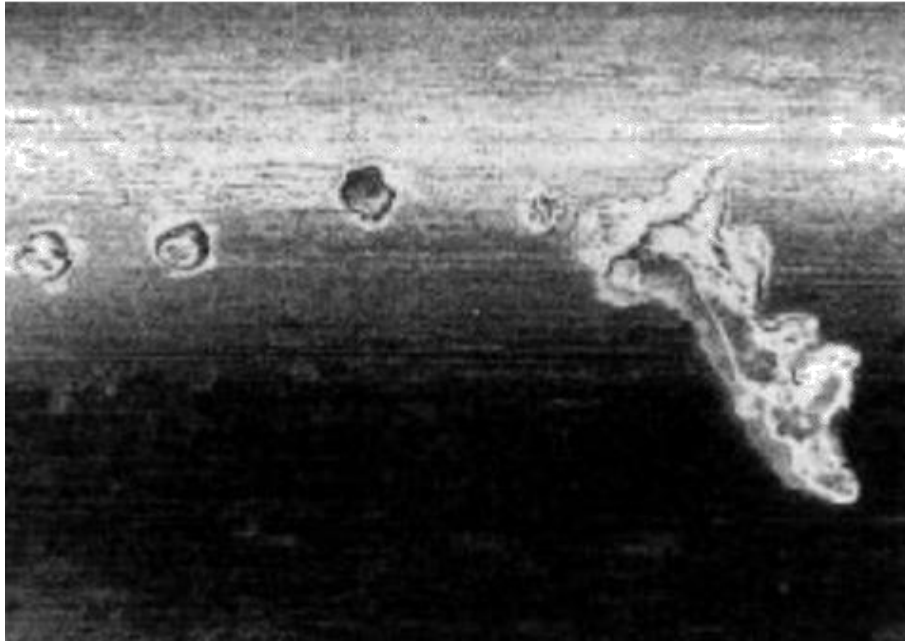
### 3.2. Prepoznavanje djelovanja osovinskih i ležajnih struja

Najbolja metoda za određivanje prisutnosti i ozbiljnosti osovinskih struja je kroz pregled pogođenih odnosno oštećenih dijelova. Vrlo često su to ležajevi, prsteni, zupčanici itd., a oni se zamjenjuju tijekom normalnog postupka održavanja, nakon čega se stroj vraća u pogon. Poslije nekog vremena dijelovi se pobliže promatraju i utvrđuje se da su pogođeni djelovanjem osovinskih struja. Tada je posao identifikacije uzroka i uklanjanje izvora napona puno teži jer je stroj u pogonu i nije moguće napraviti korekcije. Iz tog razloga preporučljivo je da se svi oštećeni dijelovi pregledaju i prepoznaju svi mogući izvori napona dok je stroj i dalje barem djelomično rastavljen. Prema [9] navode se četiri vrste oštećenja uzrokovana djelovanjem osovinskih struja, a to su:

1. *engl. Frosting*
2. *engl. Spark tracks*
3. *engl. Pitting*
4. *engl. Welding*

Prve dvije vrste oštećenja moraju se pažljivo promatrati pod mikroskopom jer se često krivo protumače kao kemijska ili mehanička oštećenja. Potrebno je mikroskopsko povećanje 50-100 puta. Površina oštećena ovom vrstom kvara nevidljiva je golim okom, a mikroskopski promatrano vide se mali krateri. *Engl.pitting*: sastoji se od mnogo većih kratera i puno je ozbiljniji oblik oštećenja (Sl.3.2.). [9]

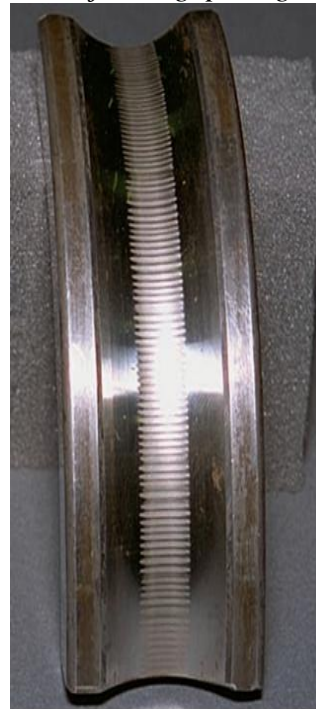
*Pitting* je oštećenje koje se najviše javlja u pogonima sa frekvencijskim pretvaračima, gdje do izražaja dolaze kapacitivne struje (visokih frekvencija). One uzrokuju pojavu izboja u ležaju, tj. pojava prevelikog električnog naprezanja maziva ležaja (koje je u pravilu loše vodljivo) koje dovodi do njegovog proboja. Ti proboju su diskontinuiranog karaktera, ali obično velikog iznosa, pa dovode do pojave karakterističnih kratera. Oni s vremenom uzrokuju povećane vibracije ležaja, što dovodi do daljnjeg erozivnog oštećenja ležaja. *Engl.spark tracks* oštećenja su nepravilna i često su smjera obrnutog od rotacije stroja. *Engl. Welding* su oštećenja koja su uzrokovana velikim strujama koje prolaze kroz ležaj i lako su vidljiva golim okom. Ovakav tip oštećenja obično je rezultat dodirivanja rotora o stator čime se stvaraju velike struje. [9]



**Slika 3.2.** Prikaz mikroskopski promatranih oštećenja - engl.pitting [9].



**Slika 3.3.** engl.Frosting [10]

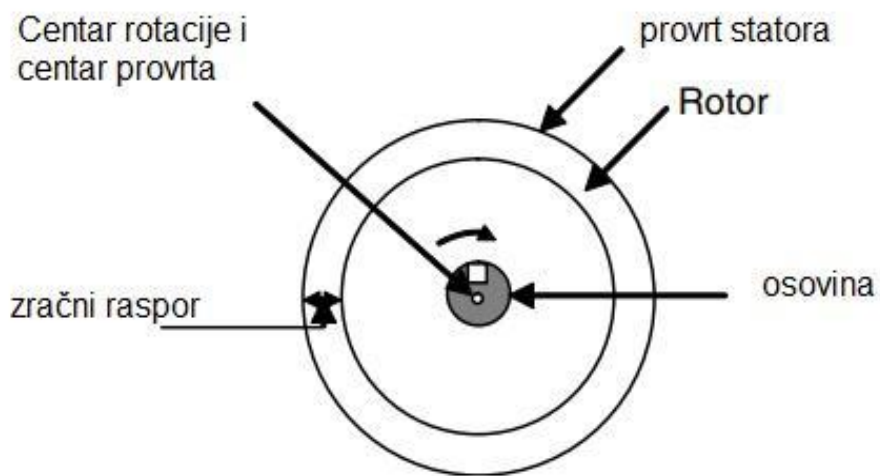


**Slika 3.4.** Engl. Fluting [10]

Oblik oštećenja ležajeva tokom osovinskih struja, a nije naveden gore je *Eng.Fluting* (*Sl.3.4.*). To je oštećenje koje uzrokuje kontinuirani tijek struje ležajem, što je karakteristika osovinskih (induktivnih) struja. Ovaj tip oštećenja ležajne košuljice također povećava vibracije, a one daljnje uzrokuju razaranje ležaja. [10]

### 3.3. Ekscentrični pomak rotora

Ekscentričnost rotora je stanje nejednolikog zračnog raspora koji postoji između statora i rotora. Zračni raspor se može pojaviti u obliku statičke ili dinamičke ekscentričnosti. Po definiciji ekscentričnost zračnog raspora spada u mehaničke kvarove motora. Ekscentricitet zračnog raspora vrlo je bitan pojam jer može uzrokovati kružni tok koji obuhvaća osovinu. U idealnom stroju, rotor se nalazi u središtu s provrtom statora i centar rotora je jednak geometrijskom središtu provrta statora kako je prikazano na slici 3.5. [11]



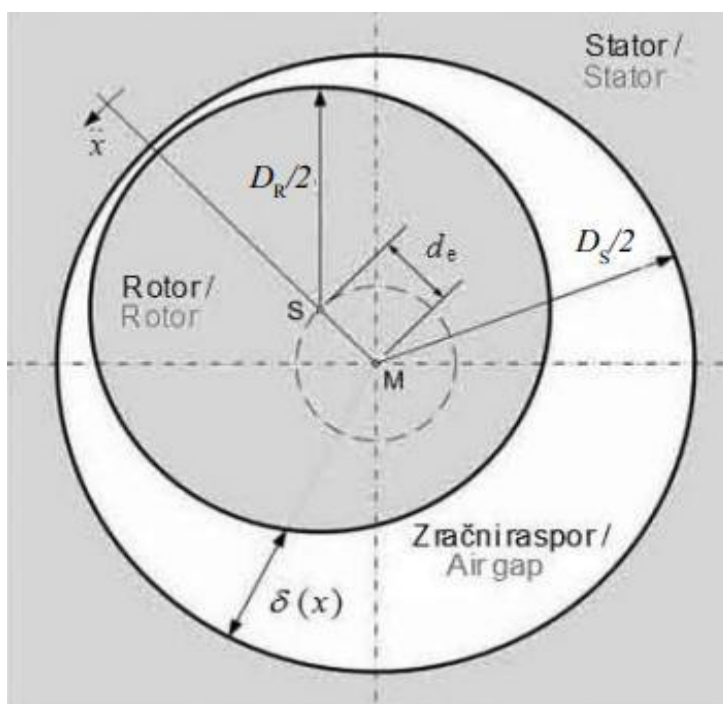
**Slika 3.5.** *Idealan stroj* [11]

### 3.3.1. Statička ekscentričnost

Statička ekscentričnost definira se kada se os rotora ne poklapa sa osi provrta statora (na slici 3-6. označena slovom M) i miruje u provrtu statora, odnosno rotor se vrti oko točke koja je fiksirana u prostoru, a na slici 3-6. označena je sa slovom S.

Širina zračnog raspora kod statičke ekscentričnosti funkcija je obodnog kuta( $x$ ). [12]

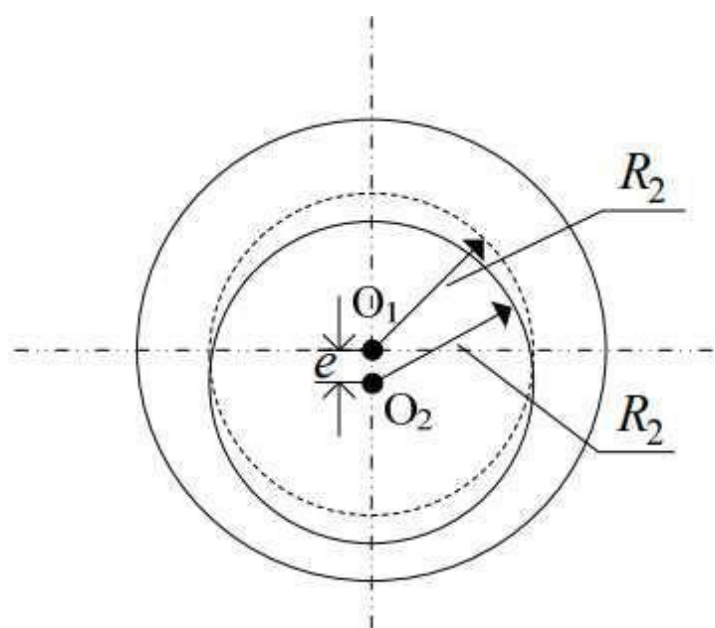
Uzrokovan statičkim ekscentritetom neuravnoteženi magnetski tok može uzrokovati iskrivljenje osovine rotora, kvarove ležaja, dinamički ekscentricitet pa i ribanje rotora o stator, što dalje vodi ka većem kvaru motora. Kod srednje naponskih motora relativno mala ekscentričnost može dovesti do ozbiljnijih kvarova motora. Stoga je otkrivanje ekscentriteta zračnog raspora u ranoj fazi vrlo bitno za zaštitu motora.



**Slika 3.6.** Prikaz ekscentričnog pomaka rotora u provrtu statora. [12]

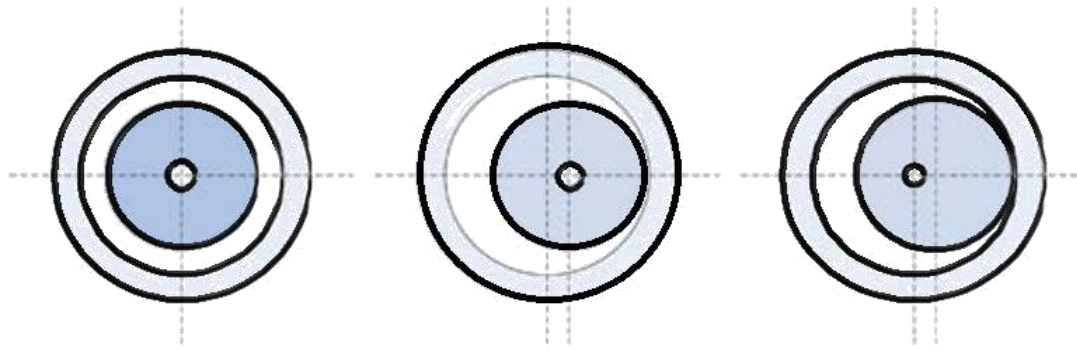
### 3.3.2. Dinamička ekscentričnost

Dinamička ekscentričnost pojavljuje se kada se centar statora i centar rotacije preklapaju, a postoji devijacija između centra statora i centra rotora kako je prikazano na (Sl.3.7.).  $O_1$  predstavlja centar rotora označenog isprekidanom linijom i centar statora a  $O_2$  predstavlja centar dinamičkog ekscentriteta rotora, ali centar rotacije je i dalje  $O_1$ . [13]



**Slika 3.7.** *Dinamička ekscentričnost* [13]

Dinamički ekscentricitet može uzrokovati savijanje osovine, pri kritičnim brzinama do magnetske rezonancije i habanja ležaja. Prema [13] kada se točka M vrti oko točke S (slika 3.6.) ovisno o vremenu, govorimo o dinamičkoj ekscentričnosti. U tome slučaju širina zračnog rasporeda funkcija je vremena ( $t$ ) i obodnog kuta ( $x$ ).



a) idealan stroj

b) statička ekscentričnost

c) dinamička ekscentričnost

**Slika 3.8.** Prikaz stroja kada je osovina u centru te statičku i dinamičku ekscentričnost. [14]

Statički ekscentricitet najčešći je oblik od 3 navedene greške ekscentriteta električnih motora. U pojedinoj literaturi uz prethodno spomenute statički i dinamički ekscentricitet spominje se i *engl.mixed eccentricity(ME)*. Kod statičkog ekscentriteta minimalni zračni raspor je fiksiran, dok suprotno tome kod dinamičkog ekscentriteta minimalni zračni raspor slijedi okretanje rotora.

## 4. PRIKAZ SKIDANJA LEŽAJNOG ŠTITA

U sklopu diplomskog rada potrebno je bilo napraviti novi ležajni štít po uzoru na stari s time što je novi trebao omogućavati ekscentričnost rotora. Za početak smo trebali odvojiti motor od istosmjernog generatora na koji je bio povezan spojkom. Cijeli postupak skidanja ležajnog štita prikazati ću slikama. Natpisna pločica stroja koji je korišten za mjerenja prikazana je na slici 4.1.



**Slika 4.1.** Natpisna pločica motora

Prvo smo skinuli mehanički štitnik spojke, kako je prikazano na slikama (Sl.4.2 i 4.3.)



**Slika 4.2.** Skidanje štitnika



**Slika 4.3.** *Skidanje štitnika*



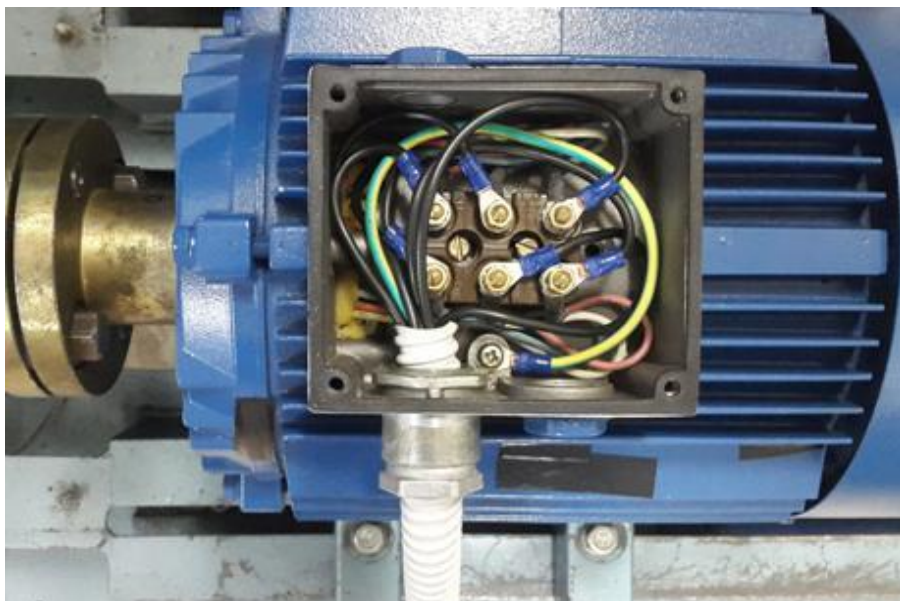
**Slika 4.4.** *Spoj istosmjernog generatora i asinkronog motora*



Nadalje je bilo potrebno otvoriti poklopac spojne kutije i otpojiti napojni kabel kako je prikazano na (Sl.4.5. i 4.6.).

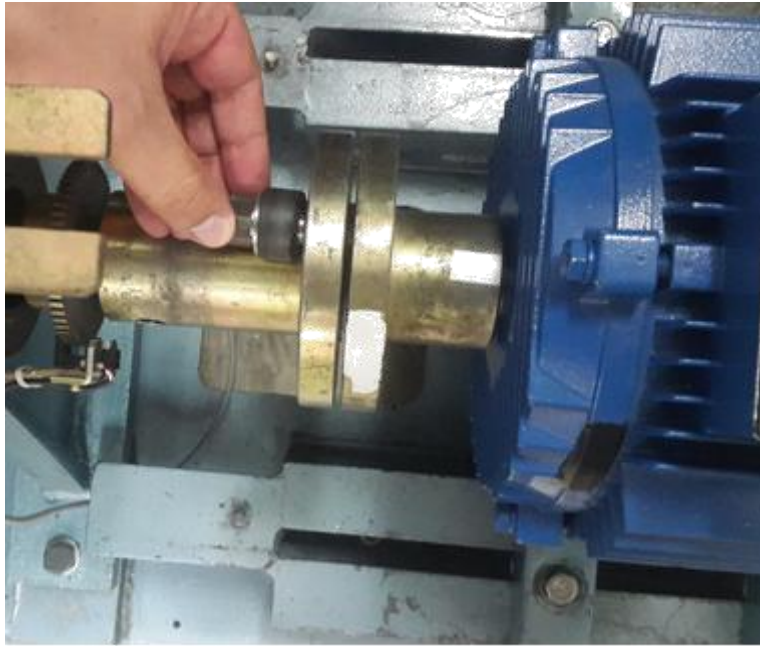


**Slika 4.5.** *Skidanje poklopca napojne kutije*

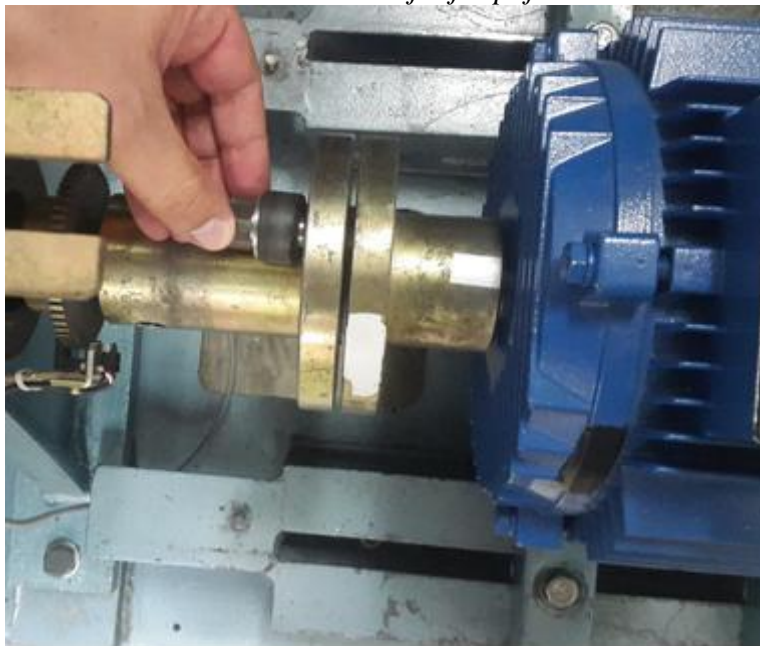


**Slika 4.6.** *Napojna kutija*

Kako bi oslobodili kompletan motor i došli do krajnjeg cilja koji je u ovom slučaju bio ležajni štiti na osnovu kojeg je trebalo napraviti novi, odvojili smo spojku koji je spajala motor i DC generator.



**Slika 4.7.** *Odvajanje spojke*



**Slika 4.8.** *Izvlačenje vijaka*

Sljedeći korak je bio skinuti motor s postolja. Potrebno je bilo skinuti četiri vijka kojima je motor pričvršćen za postolje.

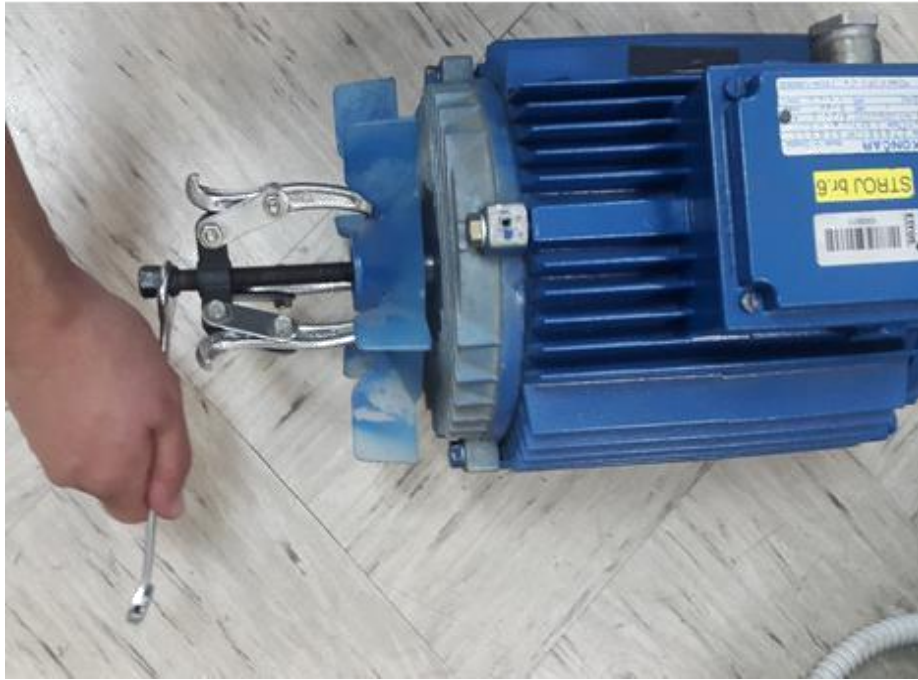


**Slika 4.9.** *Skidanje motora s postolja*

Nakon što smo oslobodili motor i skinuli ga s postolja ostao nam je lakši dio posla, skidanje poklopca ventilatora i svlakačem skinuti ventilator.



**Slika 4.10.** *Postupak skidanja poklopca ventilatora*



**Slika 4.11.** *Skidanje ventilatora svlakačem*



**Slika 4.12.** *Skidanje ležajnog štita*

Kada smo ga napokon skinuli po uzoru na njega trebalo je izraditi novi dekl kojega ćemo nadalje montirati na postojeći motor i s njime raditi mjerenja.



**Slika 4.13.** *Ležajni štit*

## 5. PRAKTIČNI DIO

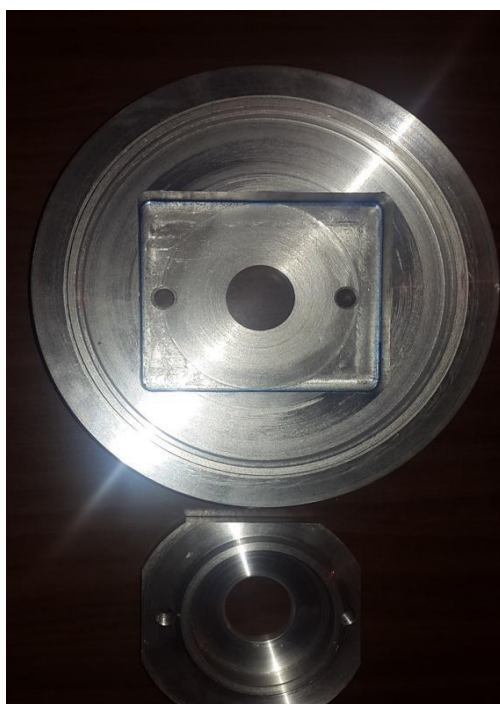
Mjerenja su napravljena u Laboratoriju za električne strojeve i pogone na Fakultetu elektrotehnike računalstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. U praktičnom dijelu rada po uzoru na stari ležajni štít potrebno je bilo napraviti novi s kojim ćemo vijcima izbaciti rotor iz centra te na taj način dobiti ekscentričnost i pokazati kako se ona odražava na spektar struja. U radu su opisana po motor štetna djelovanja koju uzrokuje ekscentričnost. Unutar ležajnog štita napravljen je nosač koji kada se pomiče nosi sa sobom ležaj i osovinu. Kako bi se nosač mogao fiksirati i kako bi znali kada je u početnom položaju odnosno u centru napravljeni su vijci kojima se pričvrsti za ležajni štít. Na gornjoj odnosno donjoj strani štita također su napravljeni si provrti kako bi vijcima mogli pomicati nosač i na taj način smo dobili ekscentričnost. U teoriji prema podacima koje sam tražio iz tvrtke „KONČAR d.d.“ unutarnji promjer statora iznosi 103 mm, a promjer rotora 102.3 mm, ležaj se prema tome može u jednu stranu pomjerati maksimalno do 0.34 mm u slučaju kada bi pomjerali ležaj preko toga došlo bi do ribanja rotora o stator i mehaničkog oštećenja stroja. Da je teorija jedno, a praksa nešto drugo potvrđeno je mjerenjima, do vibracija i ribanja dolazi puno ranije. Na ekscentričnom pomaku od 0.18 mm već pri naponu od 60tak volti zbog povećanja magnetskih sila dolazi vibracija, a to dalje vodi ka laganom ribanju rotora o stator i zadnja vrijednost za koju su napravljena mjerenja je za pomak od 0.17 mm. Kako bi točno znali u kojem trenutku se rotor više ne može okretati bez ribanja o ležajni štít postavljen je mikrometar koji može mjeriti do 0.01 mm i s njime smo došli do traženih rezultata. Mjerenja su odrađena kada je rotor u centru provrta statora, dakle kada nema ekscentričnog pomaka te za nekoliko primjera kada je rotor van centra. Na osnovu harmonika koji se pojavljuju može se zaključiti o utjecaju ekscentričnosti na frekvencijski spektar struja.

## 5.1. Spektralna analiza statorskih struja(MCSA)

*Motor current signature analysis* (MCSA) je metoda praćenja stanja koja se koristi za dijagnosticiranje kvara asinkronih motora. MCSA metoda je koja u posljednje vrijeme ima sve veću primjenu u praksi. Glavna prednost ovakve vrste analize je što se može provoditi kada je stroj u pogonu te nije potrebno iziskivati dodatne troškove do kojih bi dovelo eventualno isključenje motora iz pogona. Struja se mjeri pomoću strujnih kliješta, a zatim se signal struje vodi u spektralni analizator, gdje se provodi Fourierova transformacija (FFT) i dalje se spektar odvodi u računalo i analizira. Obrada signala u ovom radu odnosno FFT napravljena je u računalu, a kako ono radi s diskretnim podacima analogni signal strujnih kliješta DAQ karticom pretvoren je u digitalni te dalje obrađivan. U idealnom slučaju struja motora bila bi čistog sinusnog oblika. U stvarnosti u signalu postoje mnogi harmonici. Uzrok postojanja tih takozvanih *engl. sideband* (bočnih)harmonika su razne električke i mehaničke greške. MCSA metodom moguće je utvrditi greške statičkog i dinamičkog ekscentriteta, slomljen rotorski štap, krivi spoj statorskih namota, iskrivljenje osovine, kvarovi ležaja. Na osnovu jednog mjerenja moguće je zaključiti o više kvarova jer svaki kvar stvara određenu nesimetriju, ali također se javlja problem što se može krivo zaključiti o uzroku kvara te ga krivo protumačiti.

## 5.2. Novi ležajni štít

Kako bi bilo jasnije na koji način je napravljen kompletan novi štít korišten za mjerenja predočeno je sljedećim slikama. Prema (Sl.5.1.) prikazan je ležajni štít i pored njega kućište koje se može fiksirati na njega, ali i za potrebe pomaka kako bi se dobila ekscentričnost moguće ga je vijcima koji su prikazani na (Sl.5.3.) potiskivati iz središta.



**Slika 5.1.** *Novi ležajni i kućište*

Kako izgleda kada je kućište unutar ležajnog štita prikazuje slika 5.2.



**Slika 5.2.** *Prikaz kućišta ležaja unutar ležajnog štita*



Vijak koji dodiruje donji dio mikrometra vezan je na kućište unutar štita prikazano na (Sl 5.2.). Zakretanjem vijka na (Sl 5.3.) prikazan gore s desne strane mikrometra pomjeramo kompletno kućište koje sa sobom nosi ležaj i osovinu, a to registrira mikrometar i pokazuje pomak s razinom točnosti 0.01 mm. Na taj način dobivamo ekscentričnost i za različite pomake radimo mjerenja kako bi prikazali utjecaj ekscentričnosti.



**Slika 5.3.** Ležajni štiti prikazan s vanjske strane zajedno s mikrometrom

### 5.3. Mjerna oprema

Za prikupljanje podataka i povezivanje s računalom preko USB-a kabela korištena je NI-DAQ USB-6212 AD kartica tvrtke National Instruments. DAQ kartica ima 16 analognih ulaza te 8 digitalnih, 2 analogna izlaza, a priključni konektori su svi BNC. Kartica je prikupljala podatke na 3 ulaza (2 statorske struje, napon između dviju faza). Pošto kartica nema vlastitu memoriju USB-om su podaci prebačeni na računalo te pomoću programskog paketa NI Labview signal express pohranjeni te dalje obrađivani.



**Slika 5.4.** Prikaz NI-DAQ USB-6212 kartice za prikupljanje podataka

Za mjerenje struje dviju faza korištena su za svaku fazu po jedna LEM PR 430 strujna kliješta podešena na mjerno područje 40A.



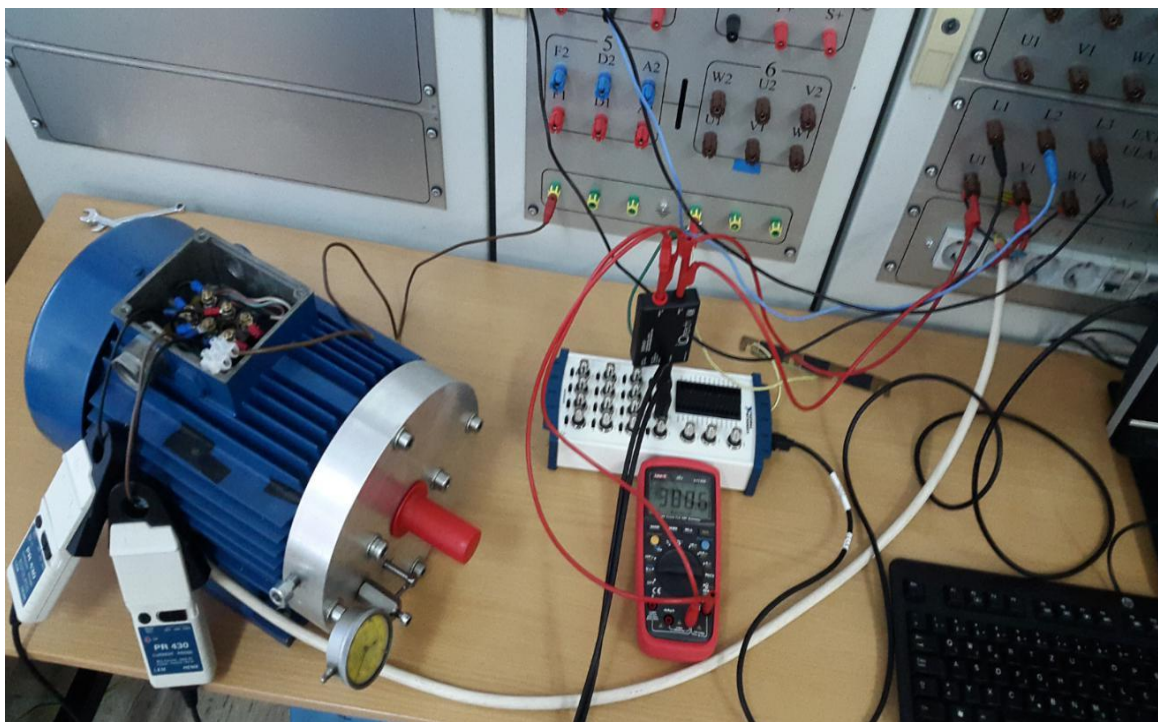
**Slika 5.5.** strujna kliješta LEM PR430

Za mjerenje napona između dviju faza korištena je naponska sonda IOTECH WBK61 koju je kao i DAQ karticu prije mjerenja bilo potrebno uzemljiti.



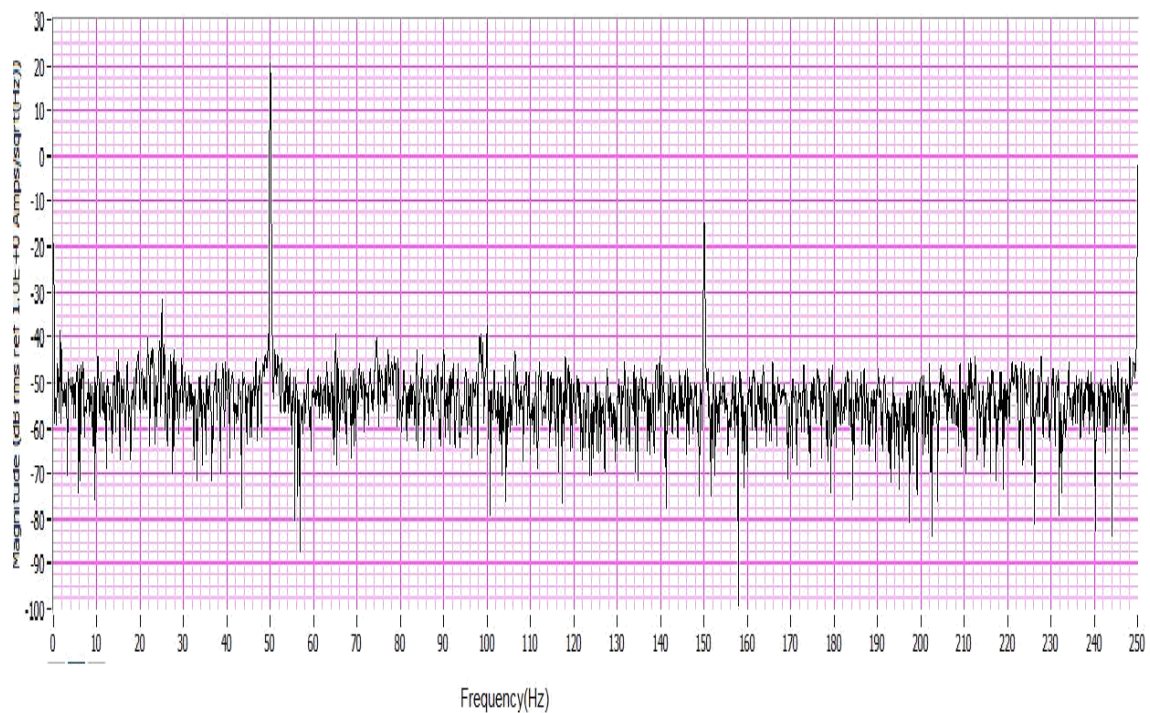
**Slika 5.6.** Naponska mjerna sonda IOTECH WBK61

## 5.4. Mjerenje i analiza rezultata

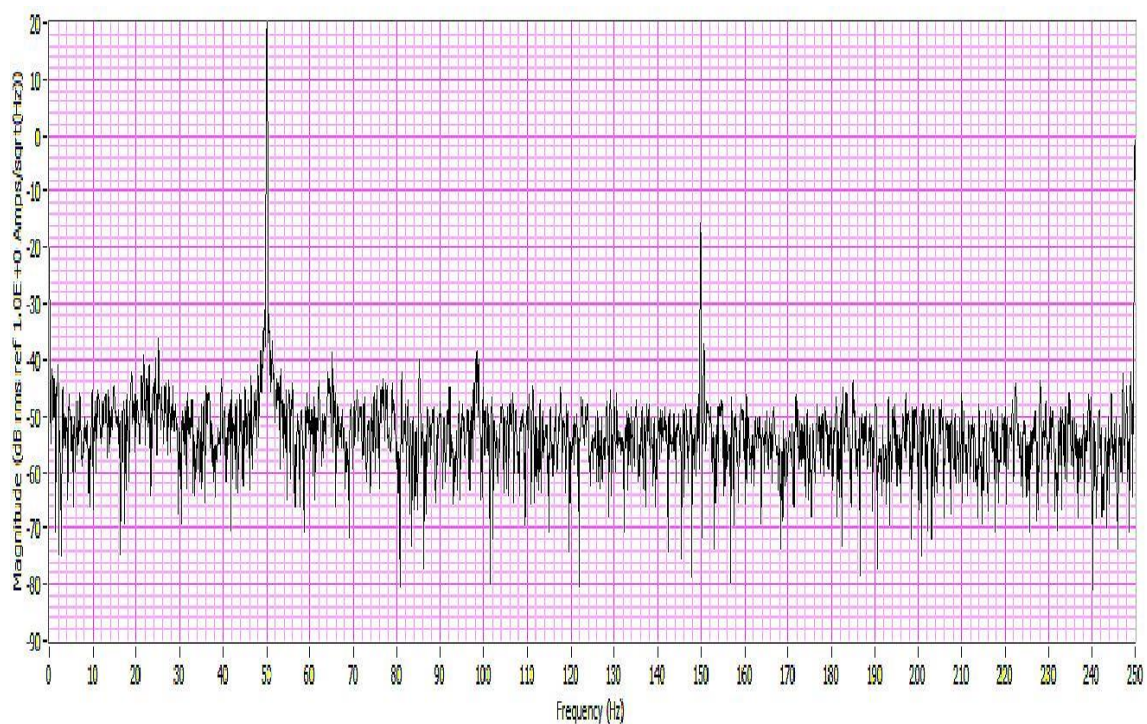


**Slika 5.7.** Prikaz mjerenja u laboratoriju

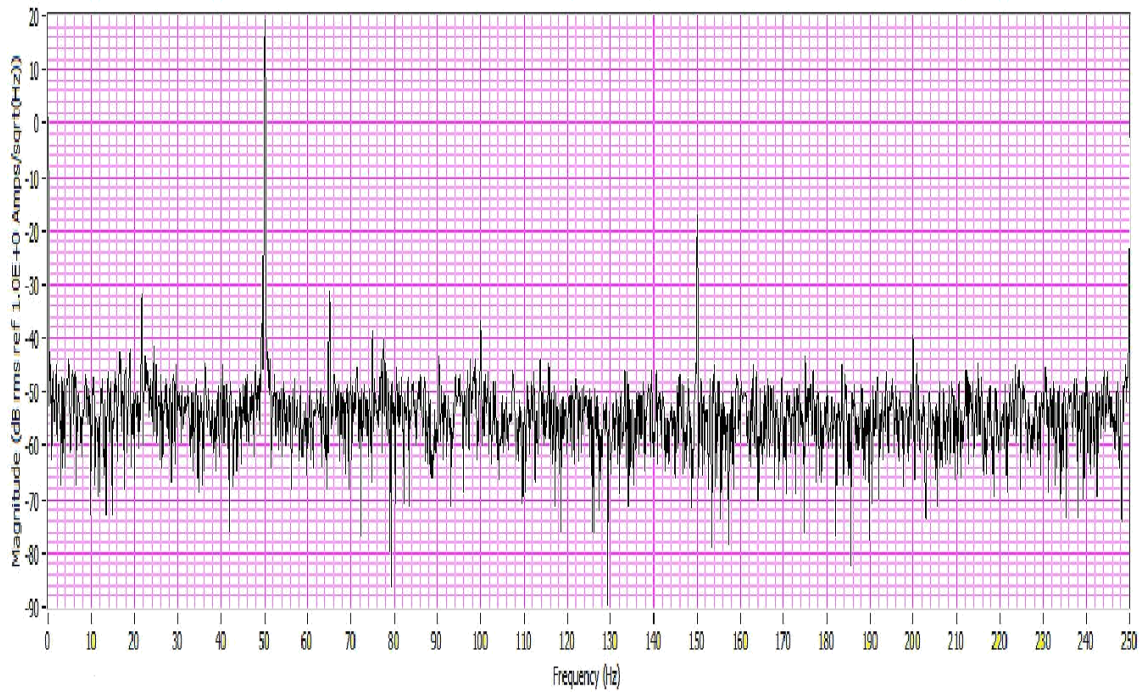
Na izvor napajanja priključen je trofazni asinkroni elektromotor u trokut spoju s ležajnim štitom osmišljenim za potrebna mjerenja. Strujna kliješta mjere struju dvije faze motora, a napon među njima mjeren je naponskom mjernom sondom. Kako bi mogli pratiti promjenu napona reguliranu transformatorom u strujni krug postavljen je voltmetar. DAQ karticom prikupljeni su podaci te USB kabelom prosljeđeni u računalo te dalje obrađivani softverskim paketom NI Labview Signal express koji nam grafički prikazuje signal u vremenskoj i frekvencijskoj domeni. Također prije mjerenja potrebno je uzemljiti motor, naponsku sondu i DAQ karticu. Slikama 5.8. do 5.17. prikazani su dobiveni frekvencijski spektri za struje statora dvije faze i jasno se vidi utjecaj ekscentričnog pomaka rotora u provrtu statora.



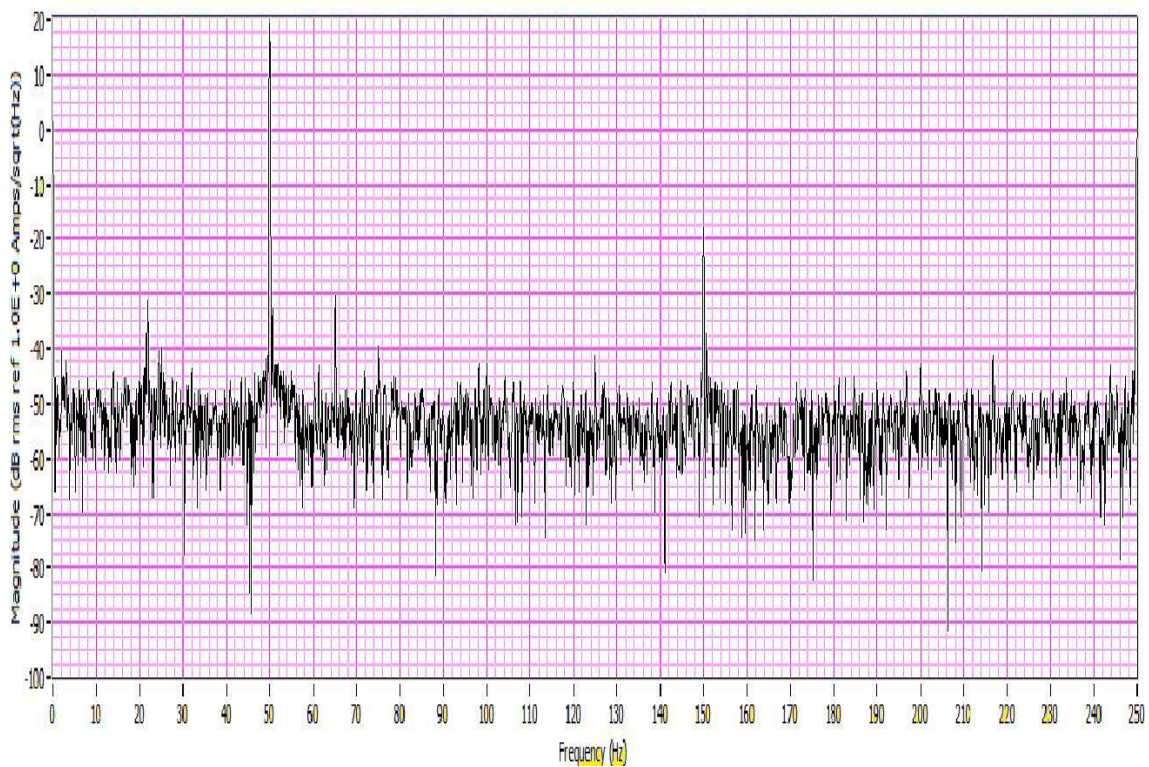
**Slika 5.8.** Amplitudno frekvencijski spektar struje prve faze kada nema ekscentričnog pomaka



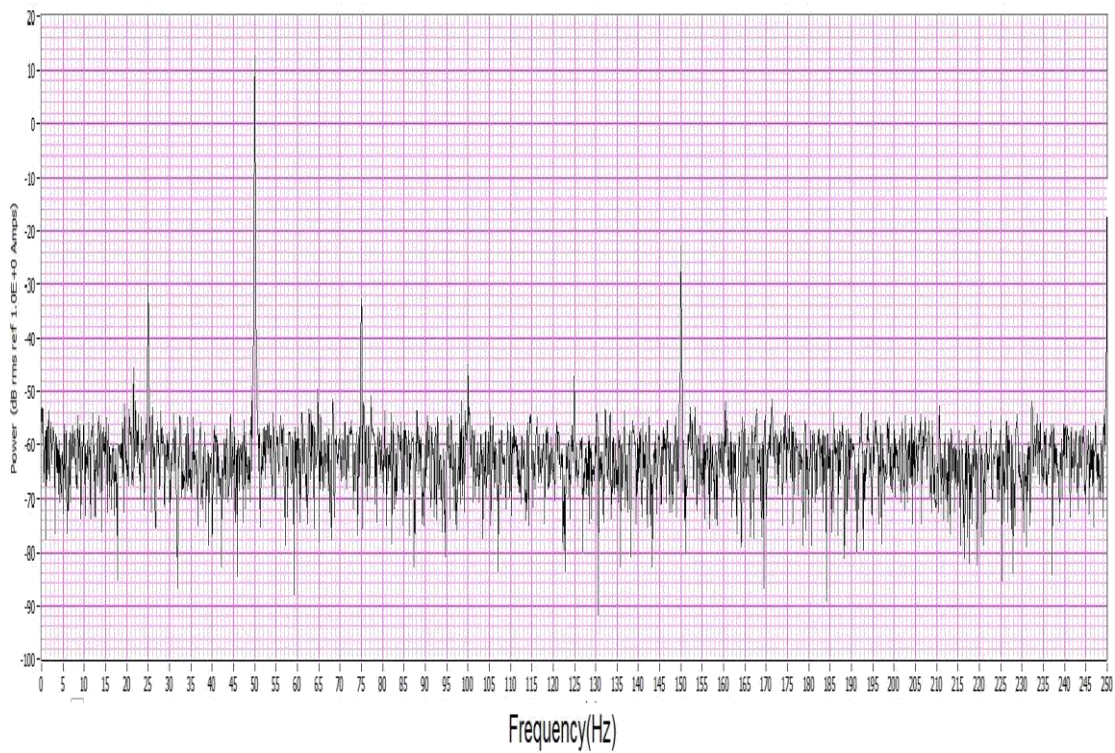
**Slika 5.9.** Amplitudno frekvencijski spektar struje druge faze kada nema ekscentričnog pomaka



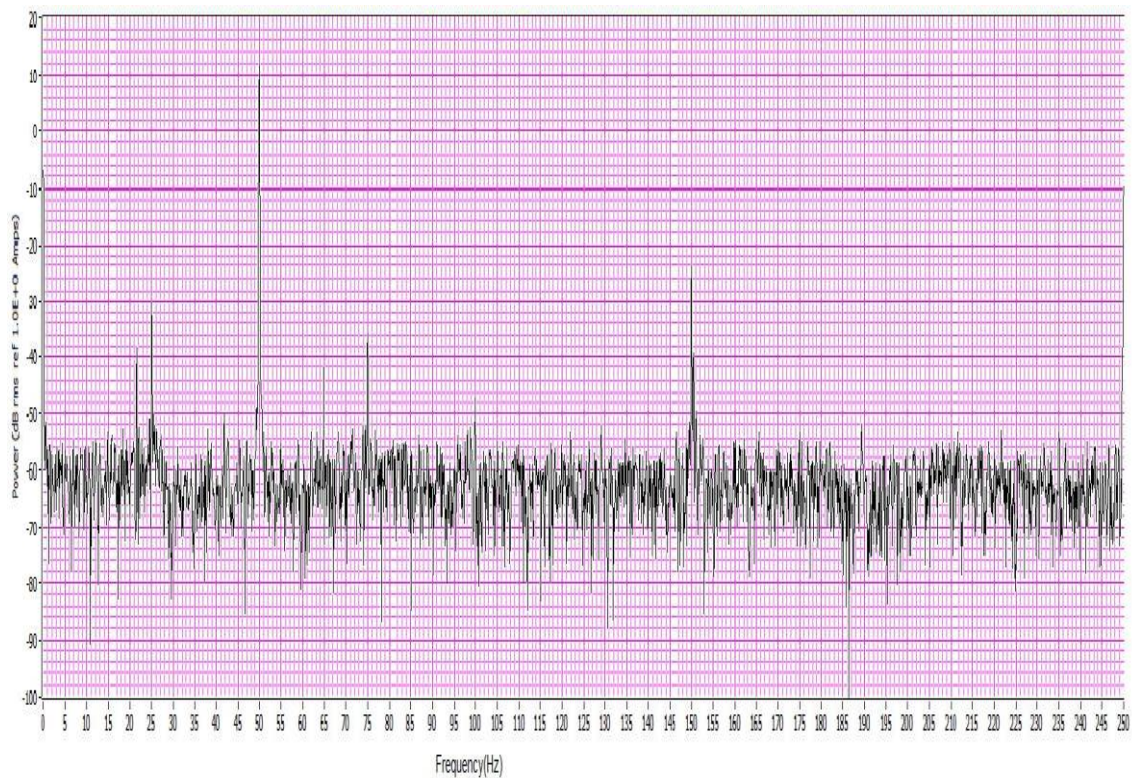
**Slika 5.10.** *Frekvencijski spektar struje prve faze kada je rotor u ekscentričnom pomaku 0.05mm*



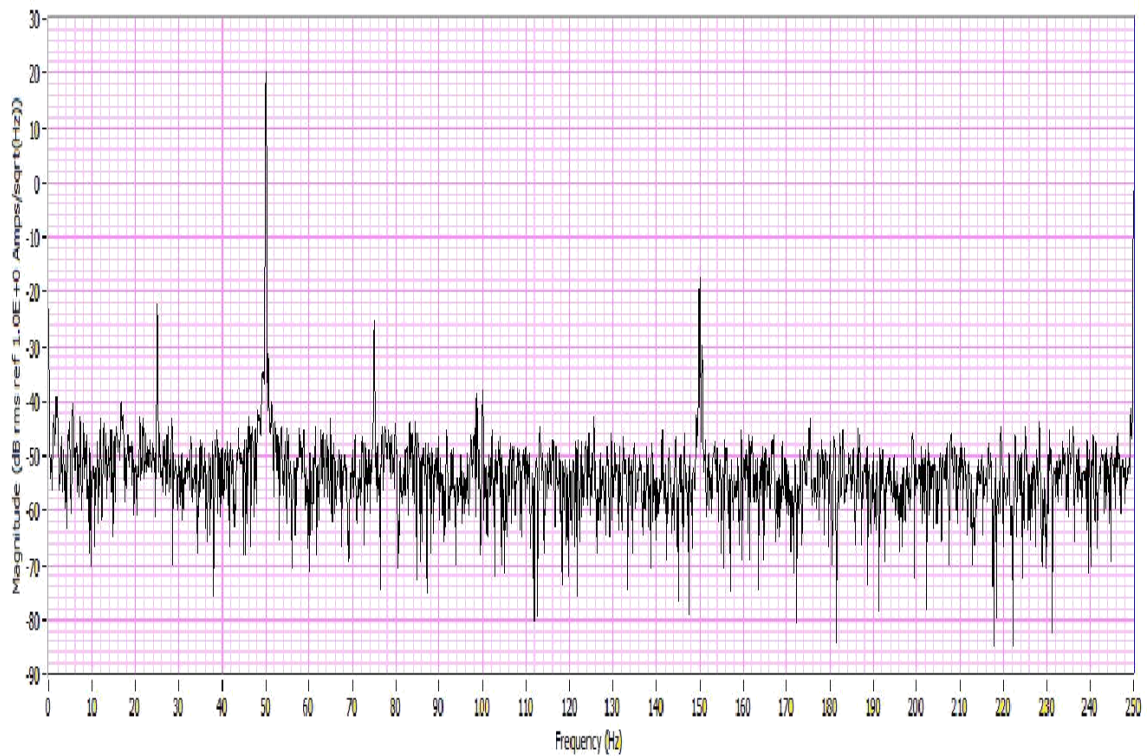
**Slika 5.11.** *Spektar za struju druge faze za ekscentrični pomak 0.05mm*



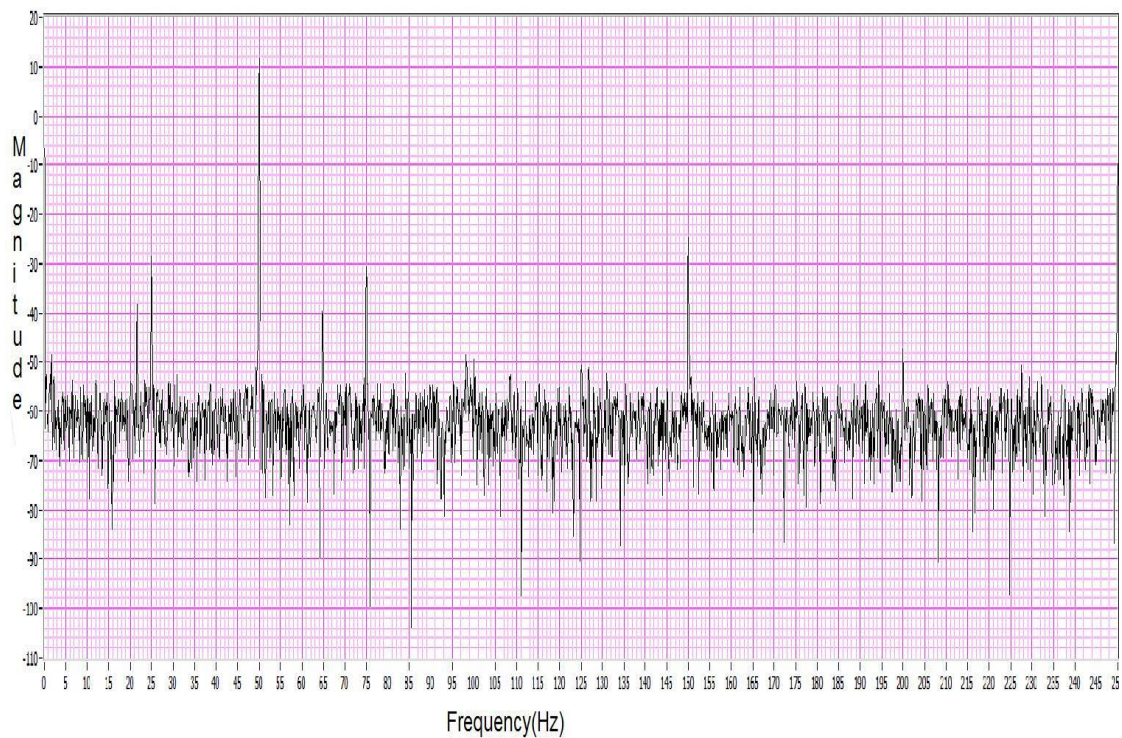
**Slika 5.12.** *Spektar za struju prve faze za ekscentrični pomak 0.12mm*



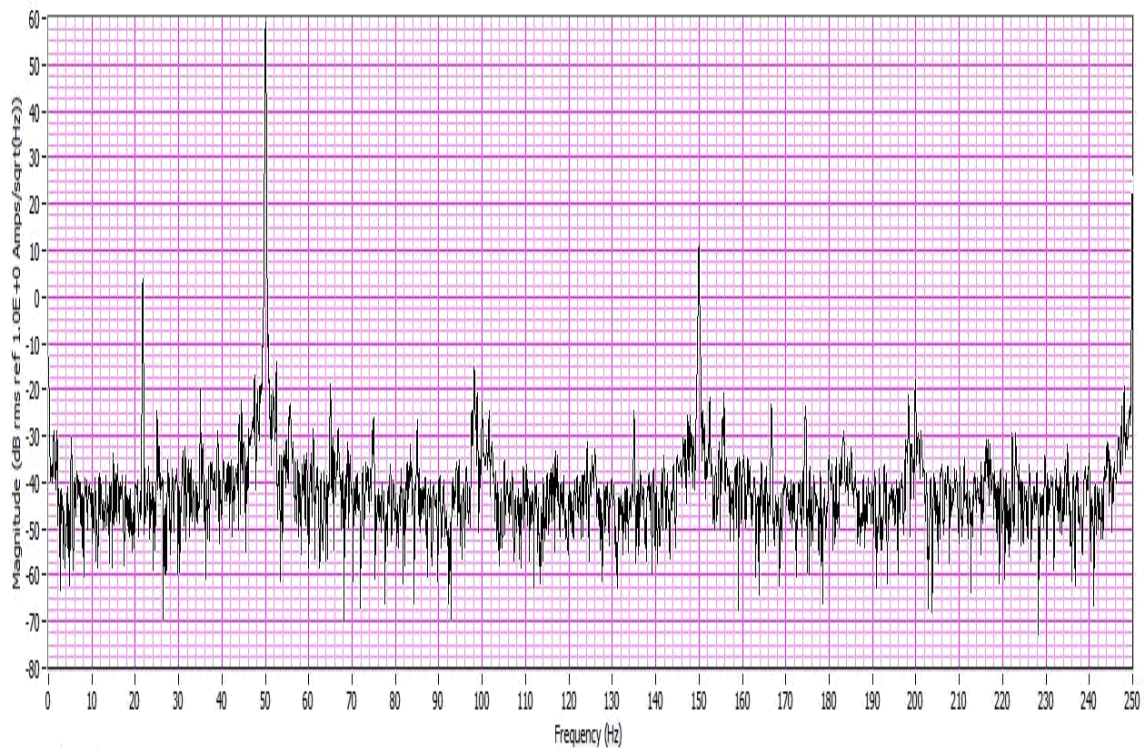
**Slika 5.13.** *Spektar struje druge faze ekscentrični pomak 0.12mm*



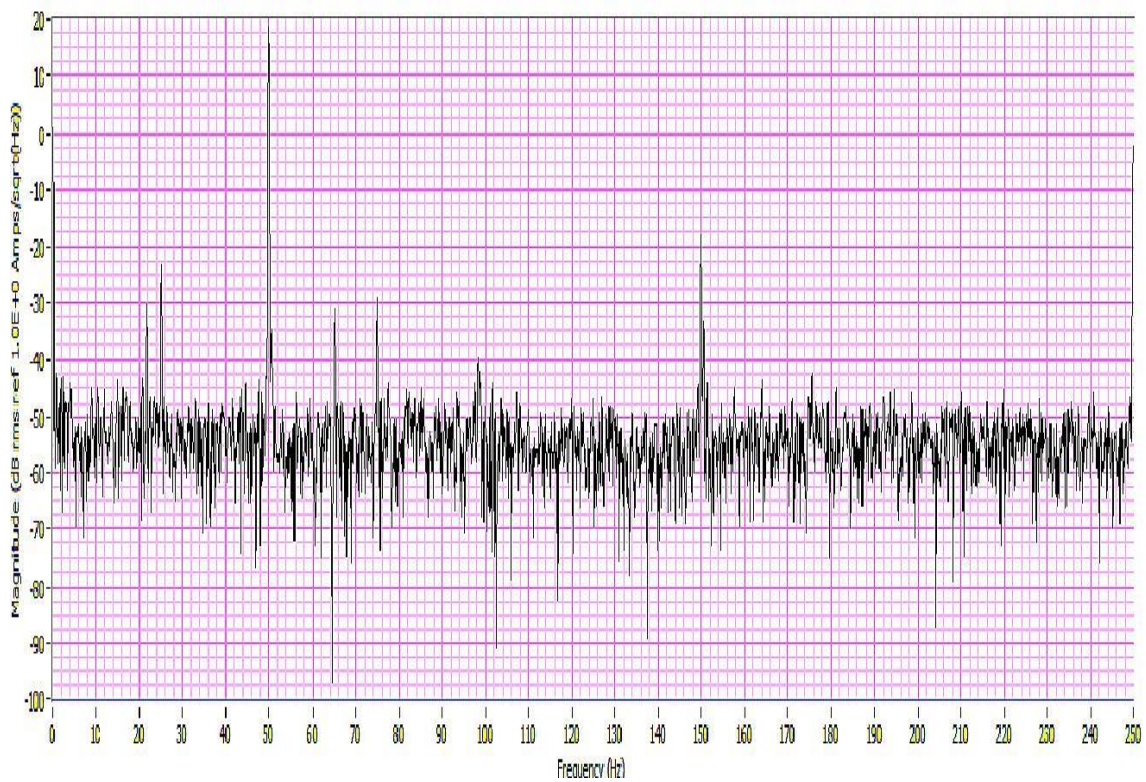
**Slika 5.14.** Spektar struje prve faze za ekscentrični pomak 0.15mm



**Slika 5.15.** Spektar struje druge faze za ekscentrični pomak 0.15mm

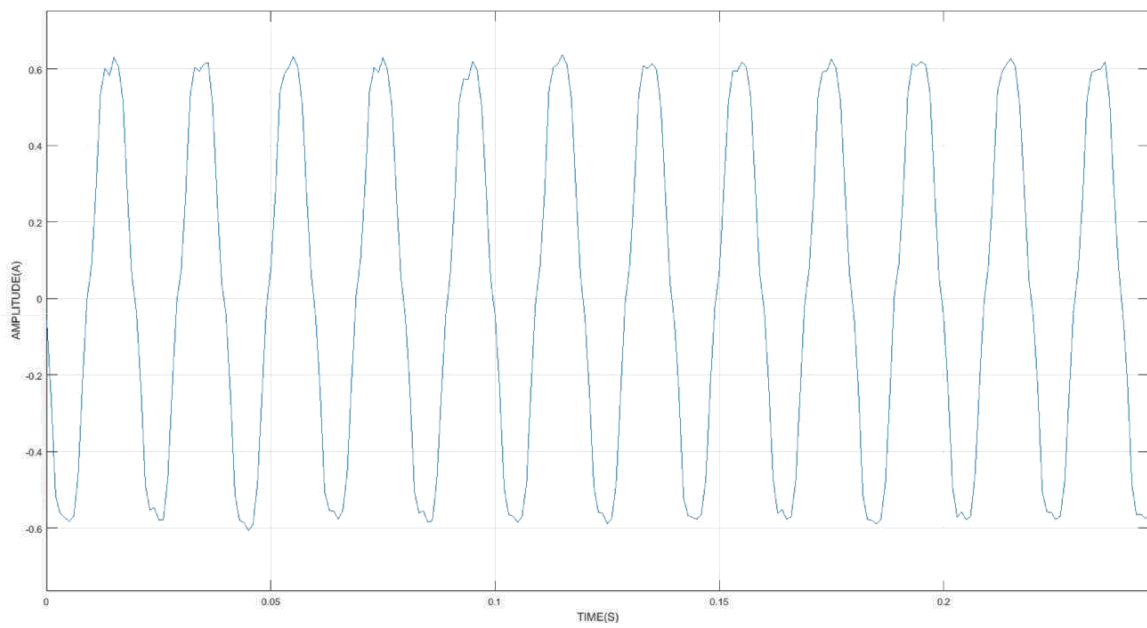


**Slika 5.16.** Spektar struje prve faze za ekscentrični pomak 0.17mm

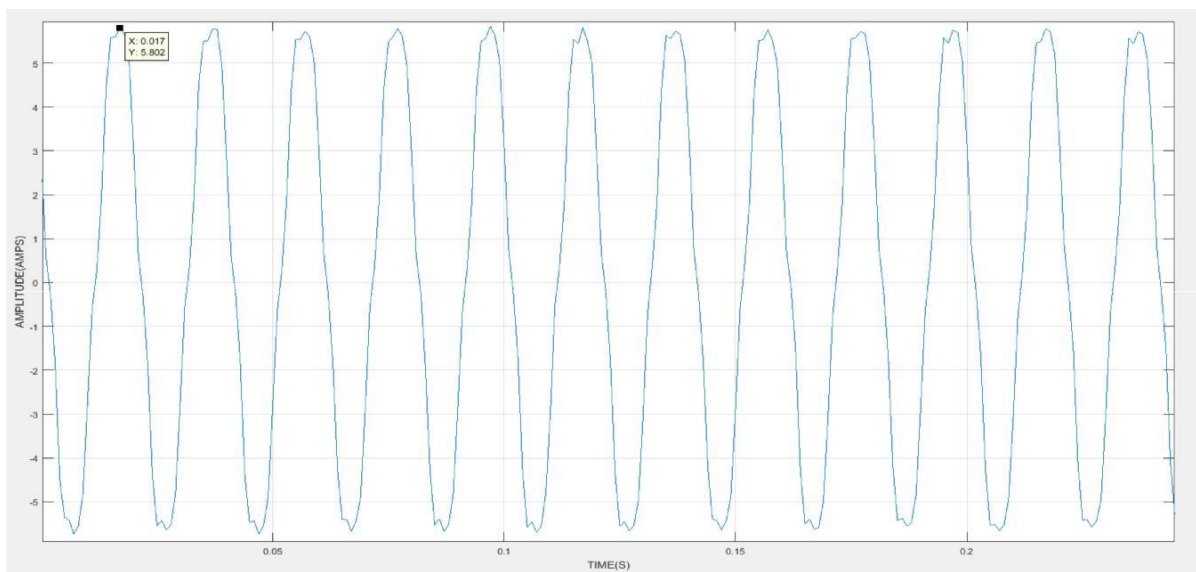


**Slika 5.17.** Spektar struje druge faze za ekscentrični pomak 0.17mm

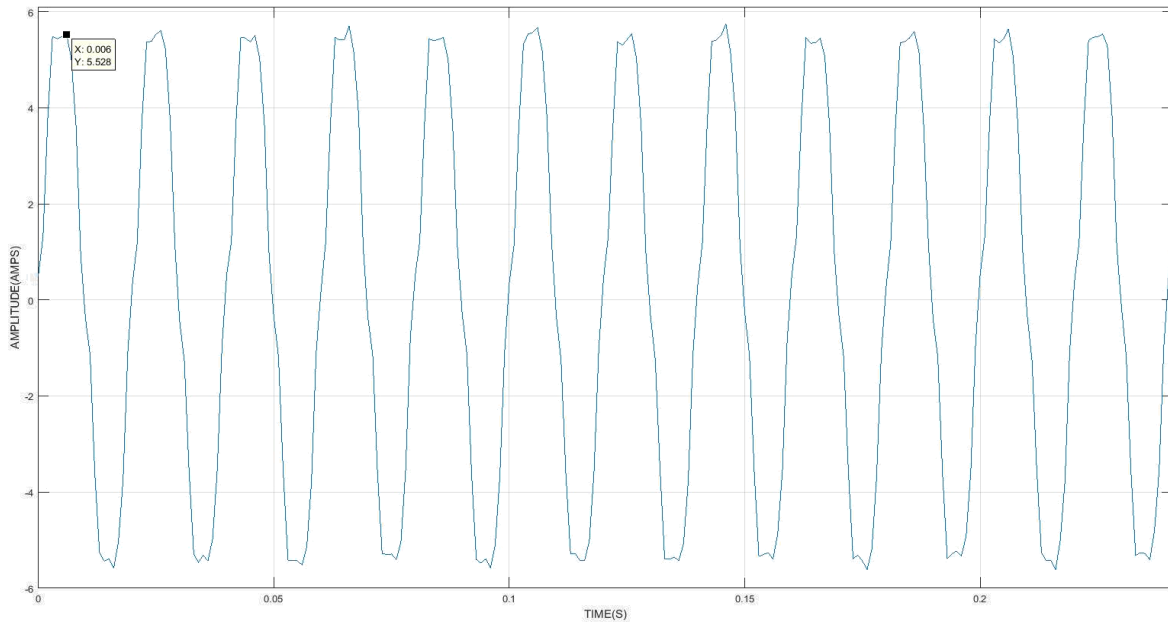




Struja prve faze vremenska domena za položaj centra



Struja prve faze vremenska domena za 0.1mm pomak



Struja prve faze vremenska domena 0.15mm

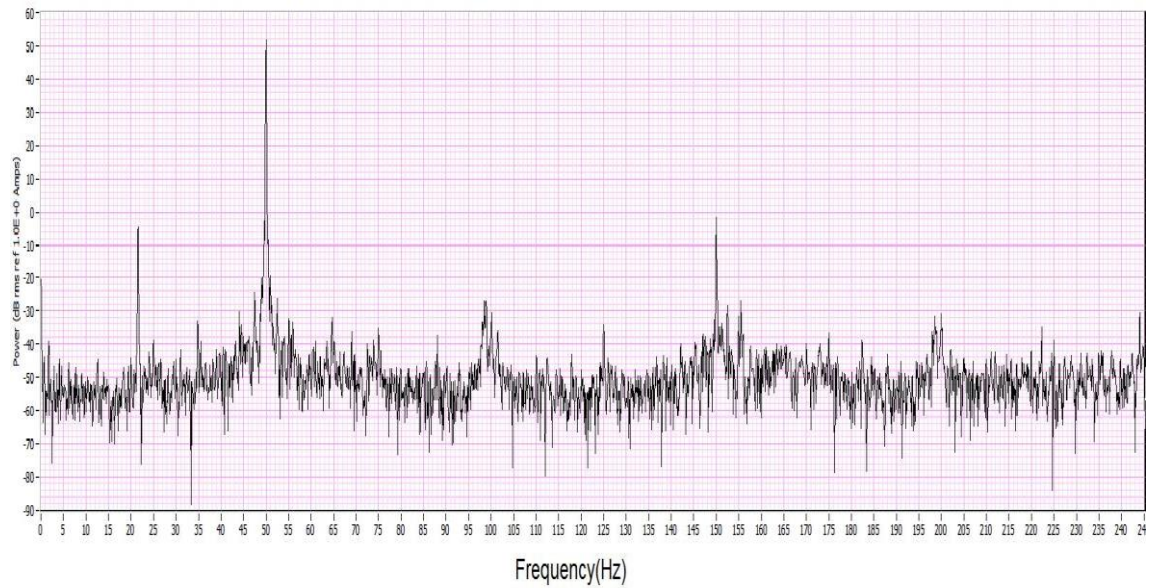
## 5.5. Analiza frekvencijskog spektra faza struja

Sva mjerenja izvršena su za motor u spoju trokut pri nazivnom naponu motora 380V. Napon je podešavan regulacijskim transformatorom. U programskom paketu NI Signal express maksimalni očekivani iznos struje postavljen je na 8A. S obzirom da se mogu očekivati frekvencije značajnih harmonika u rasponu 0 Hz do 1000 Hz, prema Nyquistovom teoremu frekvencija uzorkovanja signala koju određujemo prema relaciji:

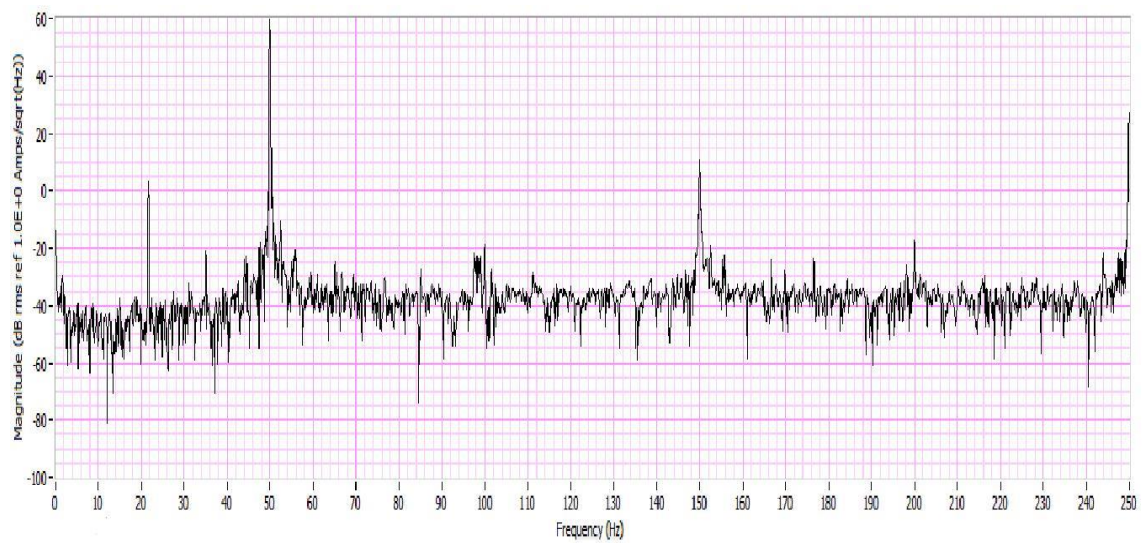
$f_N \geq 2 \cdot f_{max}$ , (5.1) mora biti veća ili jednaka maksimalnoj frekvenciji ( $f_{max}$ ) koju očekujemo. Mjerenja su rađena za 10000 uzoraka, a uvjet za frekvenciju uzorkovanja je ispunjen. Kako bi se smanjilo standardno rasipanje korišten je filter u praksi nazivan prozorom(Windows). [6] Radi točnosti i što manjeg rasipanja korišten je Blackman tip prozora. S ciljem što boljeg prikaza signala te kako bi na slikama bilo vidljivo ono što nas zanima smanjena je vremenska rezolucija signala. Slikama 5.8. do 5.17. prikazani su frekvencijski spektri struja za rotor kada je u centru provrta statora odnosno kada nema ekscentričnog pomaka te za razne pomake(0.05 mm, 0.12 mm, 0.15 mm, 0.17 mm). Zbog boljeg prikaza i očitavanja značajnih harmonika slikama je prikazan frekvencijski spektar do 250 Hz. Očekivano, istaknuti su harmonici osnovne frekvencije ( $f_0$ ) i njeni višekratnici ( $3f_0$ ,  $5f_0$ ,  $7f_0$ ,  $9f_0$ ). Na prikazanim spektrima uočljivo je kako se na maloj frekvenciji oko 1 Hz pojavljuje  $s f_0$  uzrokovan klizanjem  $s$ , a nisu vidljivi 7 i 9 višekratnik osnovnog harmonika radi boljeg prikaza parazitnih harmonika koji se pojavljuju u spektru. Primjećuje se kako su takozvani *sideband* (bočni) harmonici

zanemarivo mali kada je rotor u centru te kada je ekscentrični pomak vrlo malen 0.05 mm. Povećanjem pomaka povećava se i amplituda harmonika na 25 Hz odnosno njegov „par“ harmonik na 75 Hz. Osim harmonika na 25 Hz i 75 Hz za struje druge faze izraženi su harmonici na 22 Hz i na 65 Hz za pomake od (0.12 mm, 0.15 mm i 0.17 mm). U Matlab programskom paketu na osnovu podataka koji su izračunati u NI Signal expressu napravljeni su grafovi u vremenskoj domeni za struju prve i druge faze. Na osnovu grafova vidljivo je kako za struju prve faze valni oblik nije čisti sinusni signal, slično je i za struje druge faze za sve pomake.

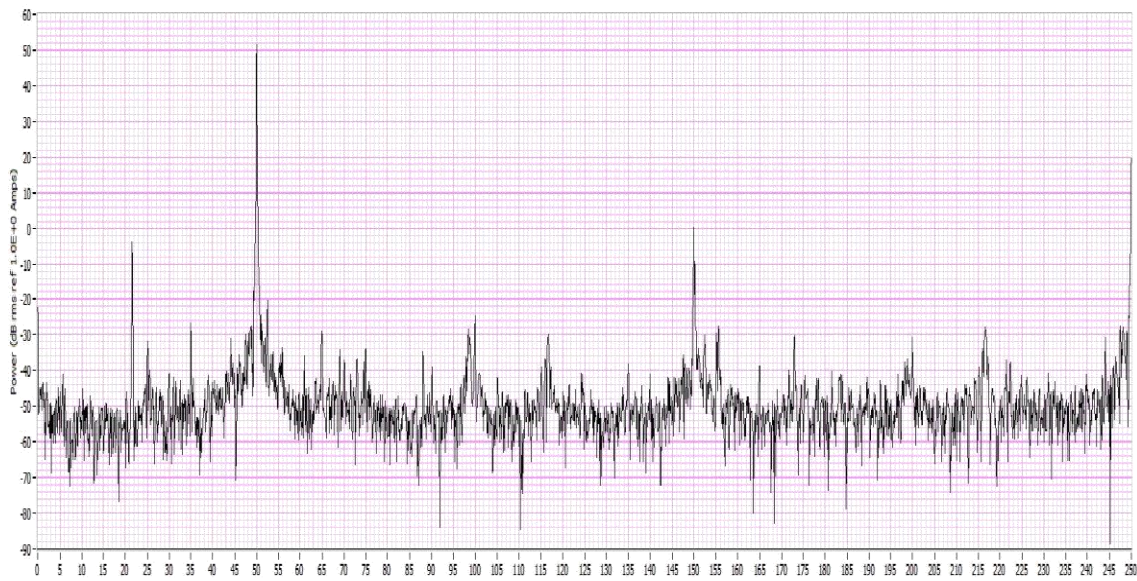
## Amplitudno frekvencijski spektri napona



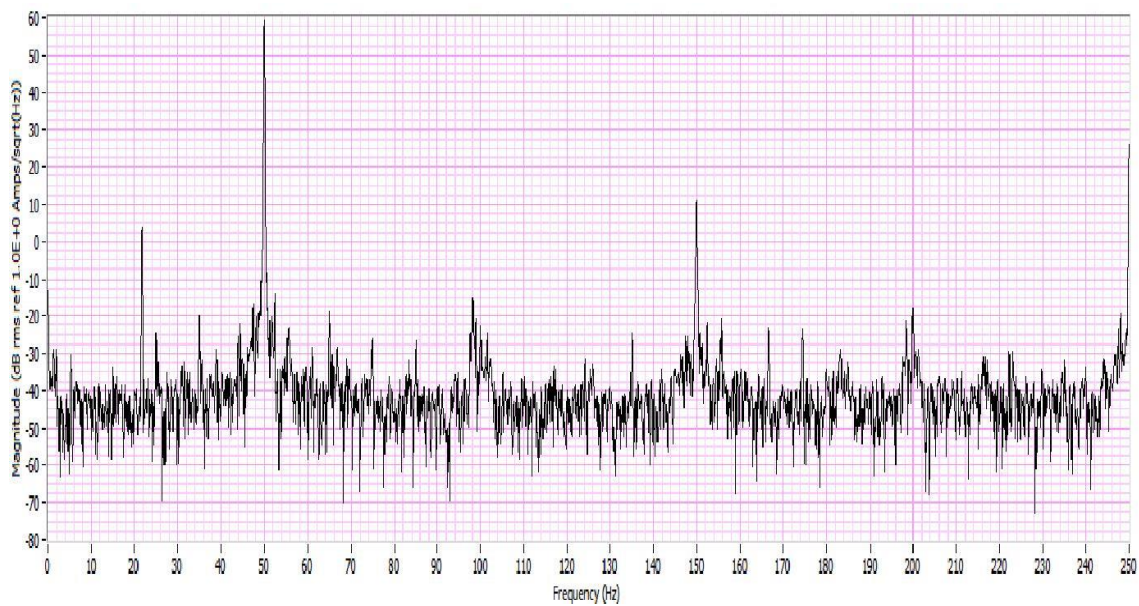
**Slika 5.18.** *Frekvencijski spektar napona za položaj centra*



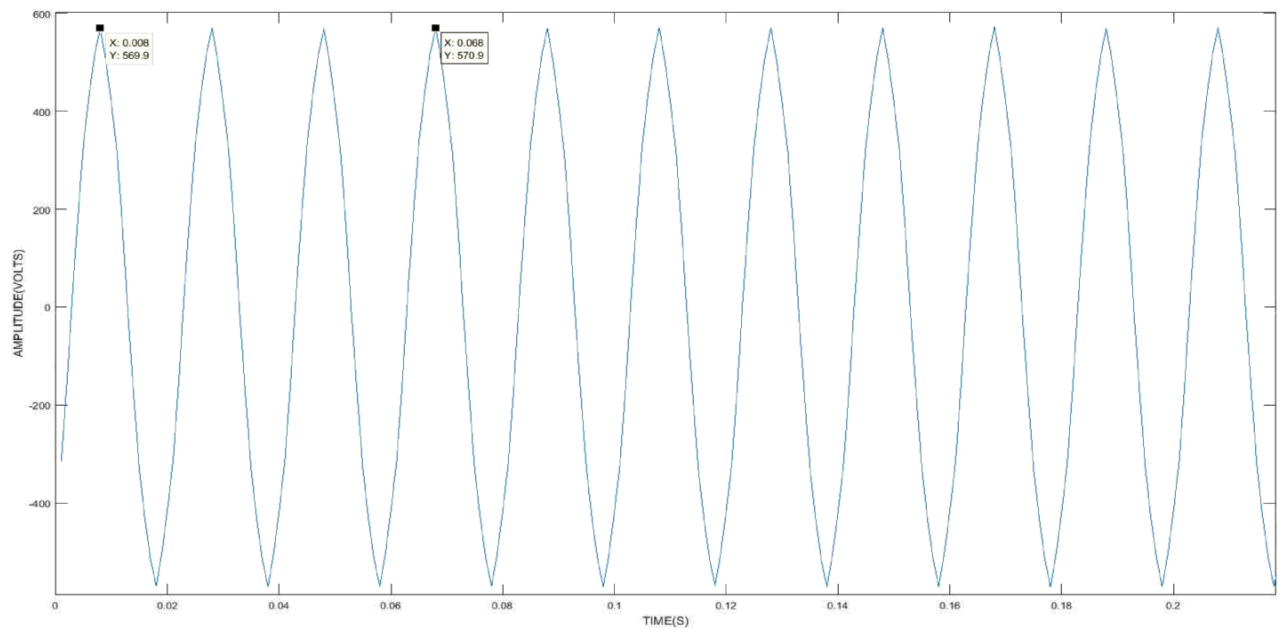
**Slika 5.19.** *Frekvencijski spektar napona za ekscentrični pomak 0.05 mm.*



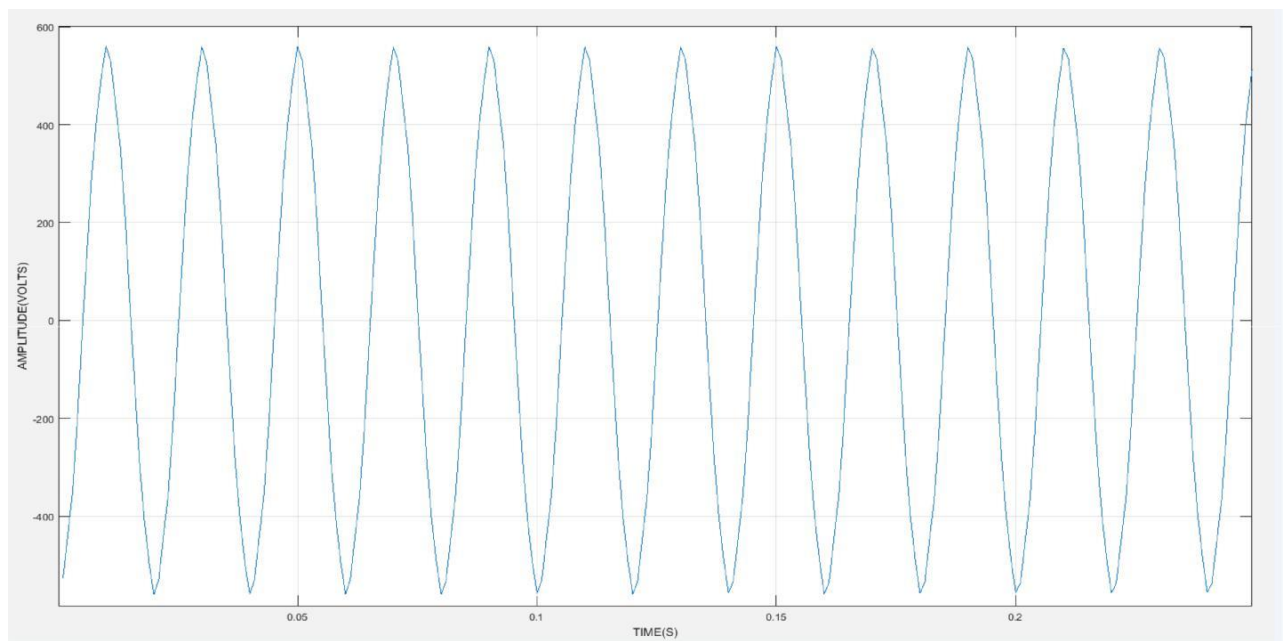
**Slika 5.20.** *Frekvencijski spektar napona za pomak 0.12 mm*



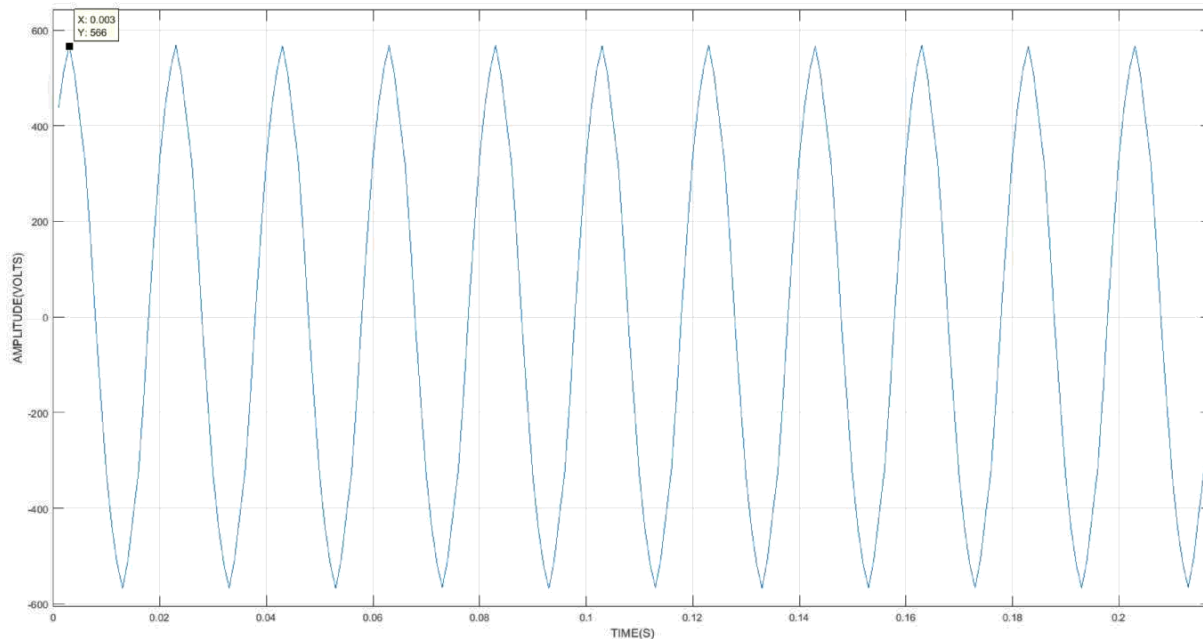
**Slika 5.21.** *Frekvencijski spektar napona za maksimalan ekscentrični pomak od 0.17 mm*



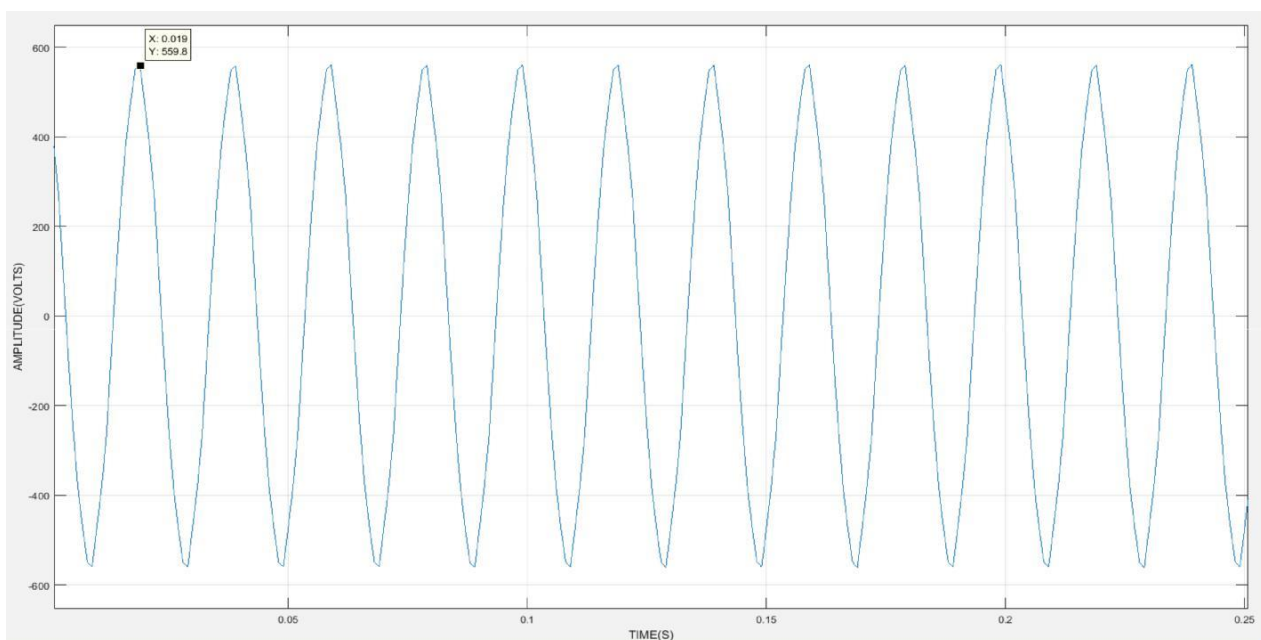
Vremenska domena za napon u centru



Vremenska domena napona za ekscentrični pomak 0.1mm



Vremenska domena napona za 0.12mm pomak



Vremenska domena napona za pomak od 0.15mm

## 5.6. Analiza frekvencijskog spektra napona

Slično kao za struje i za naponski spektar slikama je prikazano i dokazan utjecaj ekscentričnosti. Prema (Sl.5.18.) za položaj u centru i prema (Sl.5.19.) za ekscentrični pomak od 0.05 mm vidljivo je kako su oko harmonika osnovne frekvencije dominantni harmonici na 22 Hz i na 35 Hz pri čemu je najveća amplituda harmonika na 22 Hz. Kako se povećao pomak na 0.12 mm (Sl.5.20.) osim spomenutih harmonika na 22 i 35 Hz ističu se harmonici na 25 Hz i harmonik na 65 Hz. Usporedbom amplitude harmonika za pomake od 0.12 mm i 0.17 mm primjetno je kako su se spomenuti harmonici na 22 Hz, na 35 Hz i harmonika na 65 Hz povećale za 10-tak dB čemu je također pogodovala maksimalna ekscentričnost prije ribanja rotora od 0.17 mm za ovaj motor. U vremenskoj domeni napona izobličenja signala su puno manja za razliku od struja po fazama. Razlika u amplitudama označena na grafovima uzrokovana je malim odstupanjem pri podešavanju napona regulacijskim transformatorom za različite ekscentrične pomake.



## 6. ZAKLJUČAK

Zadatak diplomskog rada bio je izraditi nastavnu maketu trofaznog asinkronog elektromotora za proučavanje ekscentričnosti te na primjerima pokazati kako se ekscentričnost pomaka rotora odražava na spektar struja. Ekscentričnost stvara struje(osovinske) koje često kao posljedicu imaju kvarove ležajeva. U drugom poglavlju ukratko je opisan trofazni asinkroni elektromotor kao i njegovi osnovni dijelovi i najčešće vrste kvarova te njihova podjela na električke i mehaničke uzroke. Opisana je i pojedinačna analiza kvarova. Asinkroni motori su danas najčešće upotrebljavana vrsta motora u industriji s tendencijom daljnjeg rasta, a pojava kvarova pri čemu su kvarovi ležaja po statistici najčešći često dovode do nepotrebnih troškova zbog izbjivanja motora iz pogona. U trećem poglavlju opisane su ležajne struje koje prolaze ležajevima i oštećuju ih. Također su opisani načini prepoznavanja ležajnih struja ovisno o mehaničkim oštećenjima na vanjskoj odnosno unutarnjoj strani ležajne košuljice. U četvrtom poglavlju prikazan je kompletan postupak skidanja ležajnog štita, a po uzoru na njega i na osnovu dimenzija koje su date u prilogima napravljen je novi štit. Potrebno je bilo smisliti način kako izbaciti rotor iz centra te dobiti ekscentričnost, a istodobno točno znati za koliko milimetar je taj pomak napravljen i na osnovu toga napraviti mjerenja i harmonijskim spektrom pokazati utjecaj ekscentričnosti. U petom poglavlju kao praktični dio ovoga rada slikama je prikazano kako je osmišljen ležajni štit i na koji način smo mjerili ekscentrični pomak. Navedeni su i opisani mjerni instrumenti korišteni za mjerenja i sam prikaz mjerenja u laboratoriju. Mjerenja su napravljena za struje dvije faze, a u frekvencijskom spektru primjetan je utjecaj ekscentričnog pomaka, pojava raznih parazitnih harmonika koji su postajali tim veći i brojniji kako se povećavao pomak. Kako za spektralnu analizu mjerenja struje nije potrebno motor isključiti iz pogona na osnovu analiziranja harmonijskog spektra moguće je primijetiti pojavu kvara te spriječiti pojavu veće štete pravovremenom intervencijom odnosno zamjenom određenog dijela ili u slučaju većeg kvara zamjenom kompletnog motora.

## **7. ŽIVOTOPIS**

Deni Maganjić rođen je 11.3.1994.godine u Osijeku. Osnovno obrazovanje stekao je u Osnovnoj školi Višnjevac koju je upisao 2000-te godine, a završio 2008.godine. Nakon završene osnovne škole 2008. godine upisuje se u „Elektrotehničku i prometnu školu“ u Osijeku, a završava je četiri godine kasnije. Daljnje obrazovanje nastavlja na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku, današnjem „Fakultetu elektrotehnike, računalstva i informacijskih tehnologija“. Status prvostupnika inženjera elektrotehnike stječe 2015. godine. Nakon završenog preddiplomskog studija redovno upisuje diplomski studij. Stručnu praksu odradio je u „Electronic center d.o.o.“ u Osijeku. Služi se engleskim jezikom te je informatički pismen (MS Word, MS Excel, MS PowerPoint). Aktivno se bavi nogometom, a slobodno vrijeme provodi družeći se s prijateljima.

U Osijeku, 20.9.2018.

Deni Maganjić

## 8. POPIS KORIŠTENE LITERATURE:

- [1] <http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/41cbf93732b79663c125761f00500f5f/%24file/Vol.7.pdf>
- [2] [https://www.brighthubengineering.com/diy-electronics-devices/43723-how-are-squirrel-cage-induction-motors-constructed/#imgn\\_1](https://www.brighthubengineering.com/diy-electronics-devices/43723-how-are-squirrel-cage-induction-motors-constructed/#imgn_1)
- [3] Models for Bearing Damage Detection in Induction Motors Using Stator Current Monitoring Martin Blödt, Member, IEEE, Pierre Granjon, Bertrand Raison, Member, IEEE, and Gilles Rostaing, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 55, NO. 4, APRIL 2008
- [4] A Survey of Condition Monitoring and Protection Methods for Medium-Voltage Induction Motors, Pinjia Zhang, Member, IEEE, Yi Du, Student Member, IEEE, Thomas G. Habetler, Fellow, IEEE, and Bin Lu, Senior Member, IEEE, 2011.
- [5] Dana fusion for fault severity estimation of ball bearings, Abdenour Soualhi, University of Lyon
- [6] An Overview of Shaft Voltages and Bearing Currents in Rotating Machines Thibaud Plazenet<sup>1,2</sup>, Thierry Boileau<sup>1</sup>, Cyrille Caironi<sup>2</sup>, Babak Nahid-Mobarakeh<sup>1</sup> Senior Member IEEE, 1 GREEN, Université de Lorraine, 2, avenue de Forêt-de-Haye, 54516, Vandoeuvre-les-Nancy, France 2 LORELEC, 48 avenue Charles De Gaulle, 54425 Pulnoy, France January/February 2011.
- [7] Proračun osovinskih struja niskonaponskih asinkronih motora, doktorska disertacija. Željko Hederić
- [8] A Comprehensive Study on Shaft Voltages and Bearing Currents in Rotating Machines Thibaud Plazenet, Student Member, IEEE, Thierry Boileau, Cyrille Caironi, Member, IEEE, Babak Nahid-Mobarakeh, Senior Member, IEEE
- [9] Shaft Voltages and Rotating Machinery Michael J. Costello, Member, IEEE, 1993
- [10] Bearing fluting, The results of a long-term investigation into BEARING FLUTING on AC MOTORS, DC MOTORS, and ROLLS on paper machines
- [11] EFFECT OF ROTOR ECCENTRICITY FAULTS ON NOISE GENERATION IN PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTORS, 2010. MILJKOVIĆ, HEP, Zagreb, CROATIA,
- [12] ANALITIČKI PRORAČUN OSOVINSKIH STRUJA KOD MOTORA S HOMOGENIM JARMOM, Željko Hederić – Marinko Barukčić – Krešimir Miklošević, Osijek, Hrvatska
- [13] Analysis of dynamic unbalanced magnetic pull in induction motor with dynamic eccentricity during starting period Yang Zhou, Xiaohua Bao Member, IEEE, Chong Di, Lang Wang School of Electrical Engineering and Automation, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui, China
- [14] BRIEF REVIEW OF MOTOR CURRENT SIGNATURE ANALYSIS Dubravko, MILJKOVIĆ, HEP, Zagreb, CROATIA; [dmiljkovic@hep.hr](mailto:dmiljkovic@hep.hr)

## 9. SAŽETAK

Znatan doprinos nastanku osovinskih struja koje dalje vode ka kvaru ležajeva daje ekscentrični položaj rotora u provrtu statoru. Velika upotreba asinkronih motora dovodi do potrebe za što bržim i efikasnijim rješavanjem eventualnih nastalih kvarova. Izrađenim modelom motora, ovim radom u vidu mjerenja grafički je prikazan utjecaj ekscentričnosti na frekvencijske spektre motora, a mogu se uočiti harmonici koji nastaju. Radi li motor u takvome stanju duži vremenski period doći će do neželjenih posljedica. Sumnja li se na pojavu ekscentričnosti moguće je dijagnostičkim metodama provjeriti postojanje iste te tako pravovremeno reagirati.

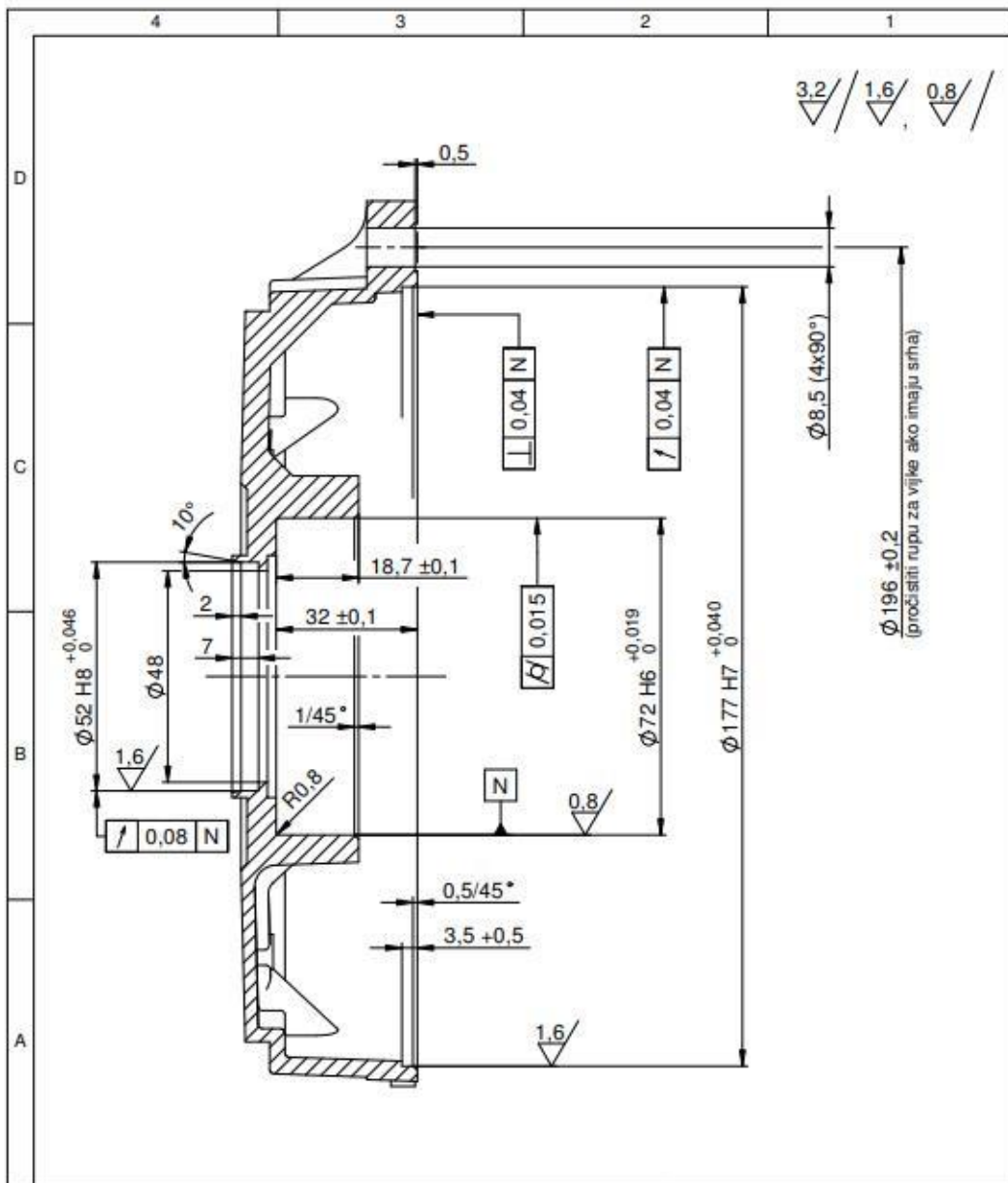
**Ključne riječi:** asinkroni motor, ležajne struje, ekscentričnost, ležajni štit

## **ABSTRACT**

Significant contribution to the formation of shaft currents leading to failure of bearings gives eccentric rotor position to a bore stator. The large use of asynchronous motors leads to the need for faster and more efficient handling of possible malfunctions. With the engine model, this work in the form of measurements graphically shows the effect of eccentricity on the frequency spectrum of the motor, and the harmonics that can be seen can be noticed. Whether the engine is in such condition for a longer period of time will result in unwanted consequences. If there is doubt about the occurrence of eccentricity, it is possible by means of diagnostic methods to check that they are stationary and react in a timely fashion.

**Key words:** bearing currents, eccentricity, asynchronous motor, bearing shield

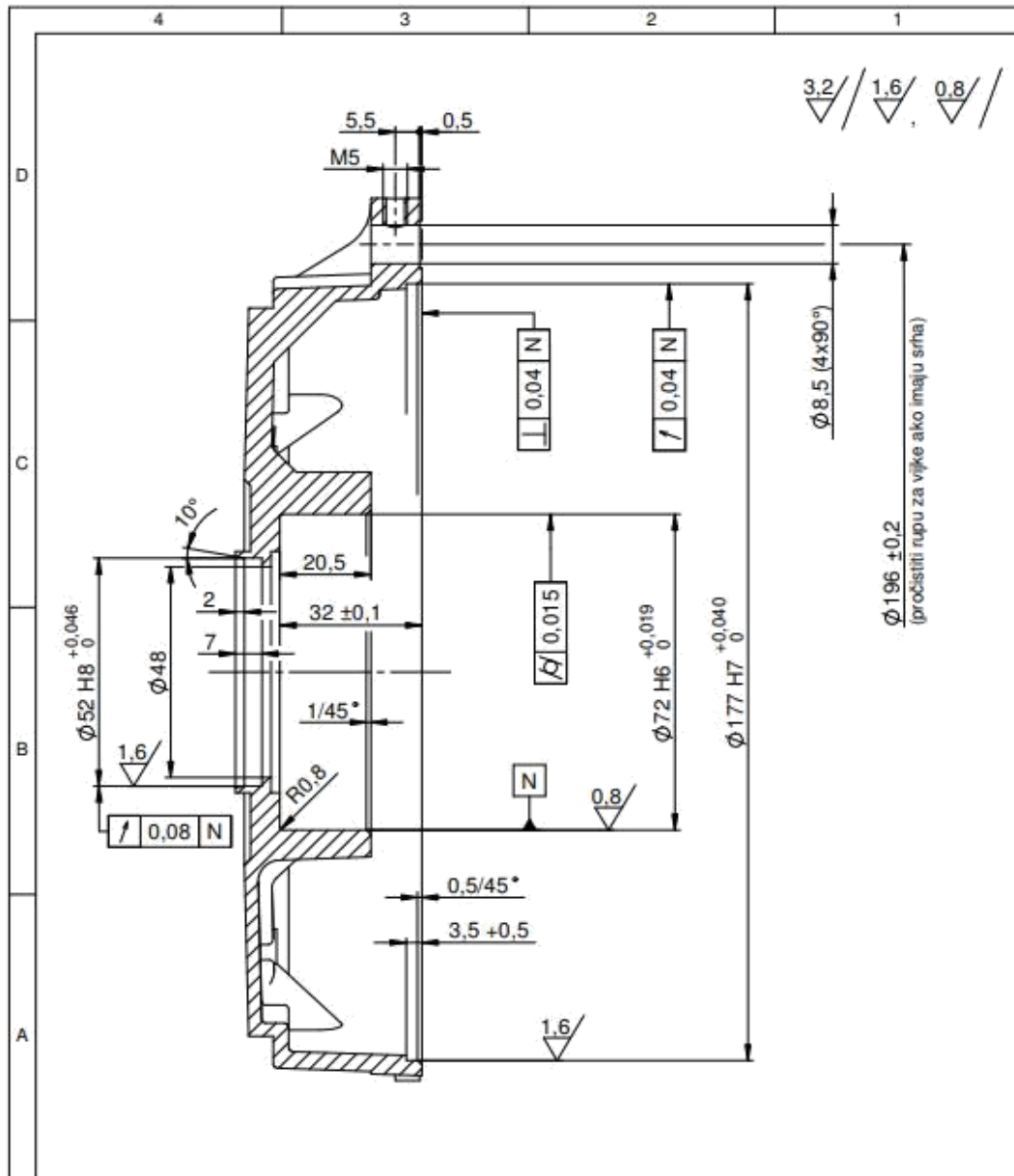
PRILOZI



Poz.	Kom.	NAZIV - OBLIK I VELIČINE			Standard crtež br.	Materijal - Primjedbe	
		Tolerancija slobodnih mjera srednja HRN M.A1.410		Površine Klasa kval. hrapav.	Mjerilo:	Masa kg/kom:	0.63 kg
		28.09.16 Ime Potpis		Konstr. I. Gračner	Sirovina:	br. [ ]	
		Ispitao Z. Prekrat		Stand. N. Bolanča	propisano sastavnicom 5.4 AZ 112 B3 PS OB-52		
<b>KONČAR-MES</b>					<b>LEŽAJNI ŠTIT</b>		
ZAGREB, CROATIA					<b>A44382</b>		
A	338/16	28.09.16	Gračner	Izvorni crtež	Zamj. za	Zamj. sa	List br.: 1 Listova: 1

OB 05.01.07.01

Dimenzije prednjeg ležajnog štita



Poz.	Kom.	NAZIV - OBLIK I VELIČINE			Standard crtež br.	Materijal - Primjedbe	
		Tolerancija slobodnih mjera		Površine Klasa kval. hrapav.	Mjerilo:	Masa kg/kom: 0.64 kg	
		srednja HRN M.A1.410			Sirovina:	br. [ ]	
			28.09.16	Ime	Potpis	propisano sastavnicom	
				Konstr.	I.Gračner	5.4 AZ 112 B3 SS OB-52	
				Ispitao	Z.Prekrat	<b>LEŽAJNI ŠTIT</b>	
				Stand.			
				Odobrio	N.Bolanča		
				<b>KONČAR-MES</b>		<b>A43700</b>	List br.: 1
				ZAGREB, CROATIA			Listova: 1
A	338/16	28.09.16	Gračner				
Izd.	Promj. br.	Dne	Ime	Izvorni crtež	Zamj. za	Zamj. sa	

OB 05.01.07.01

Dimenzije stražnjeg ležajnog štita

