

Prematanje uzбудnih namota istosmjernih motora s nezavisnom uzbuđom

Gudek, Nikola

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:400766>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





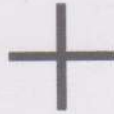
Sveučilište Sjever

Završni rad br. 536/EL/2024

Prematanje uzбудnih namota istosmjernih motora s nezavisnom uzbuđom

Nikola Gudek, 4375/336

Varaždin, rujan 2024. godine

Sveučilište
SjeverSVEUČILIŠTE
SIEVER

IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski/specijalistički rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Nikola Gudek (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog/specijalističkog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Prematanje uzbuđenih namota istosmjernih motora (upisati naslov) te da u s nezavisnom uzbuđenom navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

(vlastoručni potpis)

Sukladno članku 58., 59. i 61. Zakona o visokom obrazovanju i znanstvenoj djelatnosti završne/diplomske/specijalističke radove sveučilišta su dužna objaviti u roku od 30 dana od dana obrane na nacionalnom repozitoriju odnosno repozitoriju visokog učilišta.

Sukladno članku 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODIEL	Odjel za elektrotehniku		
STUDIJ	prediplomski stručni studij Elektrotehnika		
PRISTUPNIK	Nikola Gudek	MATIČNI BROJ	4375/336
DATUM	29.04.2024.	KOLEGIJ	Elektromotorni pogoni
NASLOV RADA	Prematanje uzbudnih namota istosmjernih motora s nezavisnom uzбудom		

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Rewinding of excitation windings of separately excited DC motors

MENTOR dr. sc. Josip Nađ ZVANJE Predavač

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. dr. sc. Branko Tomičić, viši predavač
2. doc. dr. sc. Dunja Srpak
3. dr. sc. Josip Nađ, predavač
4. Josip Srpak, viši predavač
- 5.

Zadatak završnog rada

SROJ 536/EL/2024

OPIS

U sklopu ovog završnog rada je potrebno obraditi temu prematanja istosmjernih motora, s posebnim naglaskom na uzbudne namote.

Za konkretni motor je potrebno analizirati razlog prematanja, opisati postupak prematanja i načiniti grubu procjenu troškova (trošak rada i trošak materijala).

Nakon obavljenog prematanja obaviti i opisati sve potrebne provjere i ispitivanja (vizualna, mehanička, električna).

Na kraju je potrebno prikazati svu korištenu dokumentaciju (pripremnu, prateću, završnu i ispitnu).

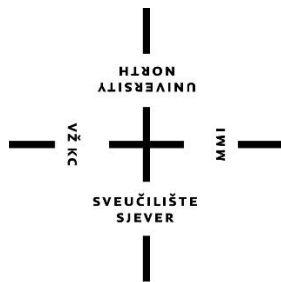
ZADATAK URUČEN

29.09.2024



POTPIS MENTORA

JNađ



Sveučilište Sjever

Odjel za elektrotehniku

Završni rad br. 536/EL/2024

Prematanje uzбудnih namota istosmjernih motora s nezavisnom uzbuđom

Student

Nikola Gudek, 4375/336

Mentor

dr. sc. Josip Nađ, dipl. ing. el.

Varaždin, rujan 2024. godine

Predgovor

Veliko hvala mojem mentoru dr. sc. Josipu Nađu što me pratio tijekom izrade ovog završnog rada, te zahvaljujem tvrtki Elka i majstoru Josipu Paleu na svim korisnim savjetima i praktičnom radu koji sam tamo odradio. Također hvala i gospodinu Marku Čepeku i Toniju Oreču, koji su mi omogućili izradu ovoga rada u tvrtki Elka.

Hvala mojoj obitelji i prijateljima bez kojih ne bih uspio završiti još jednu stepenicu u svojem životu.

Nikola Gudek

Sažetak

U ovom završnom radu istražen je proces prematanja uzбудnih namota istosmjernih motora s nezavisnom uzbuđom. Cilj istraživanja bio je detaljno opisati tehniku prematanja i analizirati njen utjecaj na efikasnost i radne karakteristike motora. U uvodnom dijelu rada predstavljene su teorijske osnove istosmjernih motora i važnost uzbudnih namota, te prednosti primjene nezavisne uzbuđe. Praktični dio rada obuhvatio je sve faze postupka prematanja, uključujući pripremu potrebnih materijala i alata, kao i detaljan prikaz koraka prematanja namota. Rad također donosi zaključke o praktičnoj primjeni prematanja uzbudnih namota i optimizaciju ovog procesa.

KLJUČNE RIJEČI:

istosmjerni motor, nezavisna uzbuđa, prematanje uzbudnog namota.

Summary

In this final paper, the process of rewinding excitation windings of DC motors with independent excitation is investigated. The aim of the research is to analyze its impact on the efficiency and performance characteristics of the engine. In the introductory part of the paper, the theoretical foundations of DC motors and the importance of excitation windings are presented, as well as the advantages of applying independent excitation. The practical part of the work covered all stages of the rewinding process, including the preparation of the necessary materials and tools, as well as a detailed presentation of the steps of rewinding. The paper also draws conclusions about the practical application of rewinding excitation windings and the optimization of this process.

Keywords:

DC motor, independent excitation, rewinding excitation winding.

Popis korištenih kratica

A1	početak armaturnog namota
A2	završetak armaturnog namota
B1	početak namota pomoćnih polova
B2	završetak namota pomoćnih polova
F1	početak uzbudnog namota
F2	završetak uzbudnog namota

Sadržaj

1.	Uvod.....	1
1.1.	Osnovni dijelovi istosmjernih motora i njihove funkcije.....	1
2.	Osnove istosmjernih motora	3
2.1.	Nadomjesna shema i formule	3
2.2.	Uzbudni namoti i njihova funkcija	5
2.3.	Vrste namota armature	6
2.4.	Shema istosmjernog motora s četiri pola	8
3.	Prematanje uzбудnih namota	9
3.1.	Pregled materijala koji se koriste	9
3.2.	Opis potrebnih alata	10
3.3.	Proces prematanja uzбудnih namota.....	11
4.	Praktični primjer prematanja uzбудnih namota	14
4.1.	Opis motora.....	14
4.2.	Primjena teorije na praktičnom primjeru	15
4.3.	Svrha prematanja	24
5.	Zaključak.....	25
6.	Literatura.....	26

1. Uvod

Istosmjerni motor pretvara istosmjernu električnu energiju u rotacijsku. Bitan dio rotora takvog motora je kolektor, zbog čega se u Hrvatskoj često naziva kolektorskim motorom. Kroz kolektor i četkice ostvaruje se električni kontakt s namotom rotora, pretvarajući istosmjernu struju napajanja u izmjeničnu struju u namotima armature. Što se tiče uzbude, istosmjerni motori mogu imati nezavisnu, serijsku, paralelnu i složenu uzbudu. [1]

Istosmjerni motori su popularni u industriji zbog svoje sposobnosti kontinuirane promjene brzine vrtnje, te se još uvijek često koriste u električnoj vuči (tramvaji, lokomotive). Brzina motora može se regulirati na različite načine, a u modernim sustavima često se koristi računalno upravljanje. Također, zbog mogućnosti napajanja iz akumulatorskih baterija, ovi motori se često koriste kao starteri za motore s unutarnjim izgaranjem, primjerice u automobilima, traktorima i dizelskim agregatima. [1]

Unatoč svojim prednostima, istosmjerni motori su manje popularni od kaveznih asinkronih motora zbog kolektora i potrebe za njegovim održavanjem te zbog trošenja četkica i moguće pojave iskrenja. [1]

1.1. Osnovni dijelovi istosmjernih motora

Istosmjerni motor sastoji se od više dijelova koji zajedno omogućuju njegovo funkcioniranje. Ključni dijelovi su stator, rotor, kolektor s četkicama te kućište i ležajevi.

1.1.1. Stator

Stator je nepokretni dio motora koji sadrži uzbudne namote, željeznu jezgru i magnetske polove. Njegova uloga je stvaranje stabilnog i konstantnog magnetskog polja kroz koje se rotor može okretati. Obično je konstrukcija statora izrađena od lameliranih čeličnih ploča. S takvom vrstom konstrukcije smanjuju se gubici vrtložnih struja. [1]

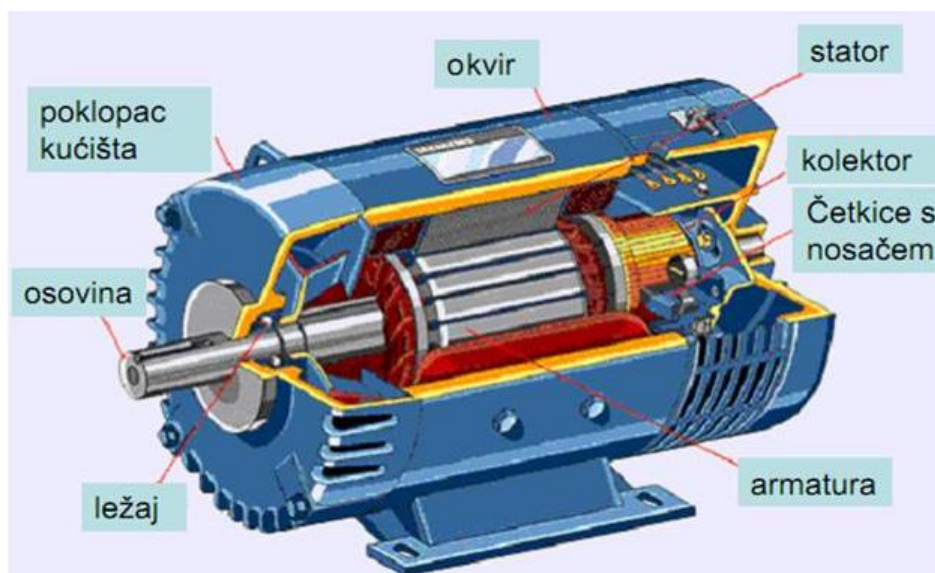
1.1.2. Rotor

Rotor (armatura) je pokretni dio motora. On se nalazi u statoru i okreće se unutar magnetskog polja statora. Ima armaturene namote koji u interakciji s magnetskim poljem statora i strujom stvaraju okretni moment.

1.1.3. Kolektor i četkice

Kolektor je mehanički komutacijski uređaj koji omogućuje pretvaranje izmjenične struje unutar armaturnih namota u istosmjernu struju na izlazu motora. Sastavljen je od bakrenih segmenata koji su izolirani jedan od drugoga. Po segmentima kližu četkice koje prenose struju, tijekom klizanja dolazi do iskrenja. Kolektor tijekom rotacije osigurava kontinuiranu i pravilnu distribuciju struje kroz armaturu.

Četkice su komponente koje se zbog iskrenja na kolektoru s vremenom potroše pa ih treba s vremenom promijeniti. One održavaju električni kontakt između rotirajućeg kolektora i vanjskog električnog kruga. Napravljene su od grafitu ili grafitnih kompozita. Omogućuju prijenos struje prema armaturi i od armature te imaju važnu ulogu u komutaciji. Redovita provjera i zamjena četkica ključni su za pouzdan i dugotrajan rad motora. [1]



Slika 1. Primjer istosmjernog motora [4]

1.1.4. Kućište i ležajevi

Kućište i ležajevi su bitni dijelovi svake vrste motora. Ležajevi osiguravaju glatku i stabilnu rotaciju rotora te smanjuju trenje i produžuju vijek trajanja, dok kućište motora pruža mehaničku potporu i zaštitu unutarnjih komponenti od vanjskih utjecaja.

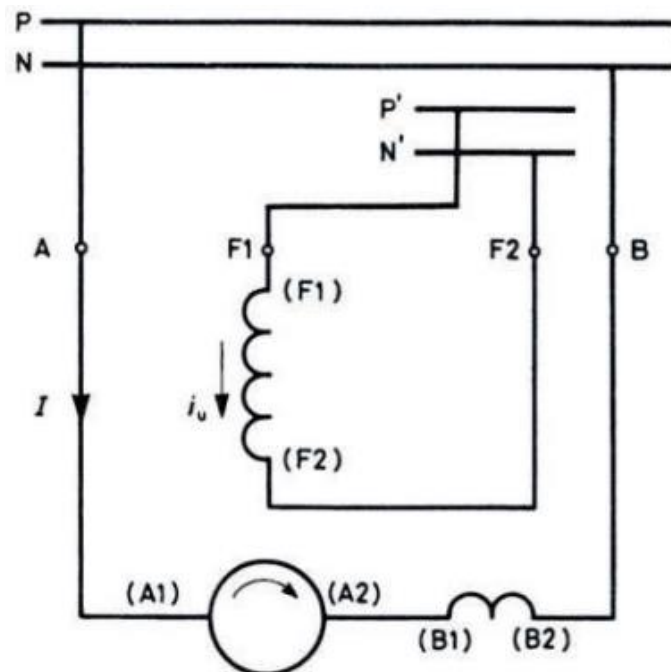
Poklopac kućišta je dio motora koji najčešće na sebi sadrži zračne raspore kako bi motor imao zračno hlađenje. Kod posebnih vrsta motora zračni raspore ne postoje.

2. Osnovna teorija istosmjernih motora

2.1. Nadomjesna shema i formule

Spojna shema na Slici 2. prikazuje nezavisno uzbuđeni motor i njegove spojeve:

- Uzbuđnim namotom (oznake F1 i F2) teče uzbuđna struja koja napaja uzbuđu s posebnog izvora P' i N'. Ta struja u uzbuđi stvara glavni magnetski tok Φ_{gl} .
- Armatura je priključena na glavnu mrežu P i N. Glavna mreža napaja armaturu strujom armature I_a koja daje moment vrtnje zajedno s glavnim tokom. (A1 i A2 su oznake armaturnog namota, a B1 i B2 su oznake namota pomoćnih polova). [2]



Slika 2. Shema istosmjernog motora s nezavisnom uzbuđdom [2]

Ovisnost brzine vrtnje n i momenta vrtnje M može se prikazati relacijom o induciranom naponu u motoru. Ta relacija vrijedi za sve istosmjerne motore, neovisno o njihovom spoju. Za inducirani napon vrijedi formula:

$$E = k_e \cdot \Phi_{gl} \cdot n$$

U prethodnom je izrazu E oznaka za inducirani napon, Φ_{gl} oznaka za glavni magnetski tok, n oznaka za brzinu vrtnje, a k_e je konstanta stroja. Budući da je konstanta stroja (k_e) nepromjenjiva

veličina za konkretni stroj, proizlazi da su brzina vrtnje i glavni magnetski tok parametri kojima možemo mijenjati inducirani napon [3]. Inducirani napon E u idealnom praznome hodu je jednak naponu mreže. Pri tome je glavni magnetski Φ_{gl} uspostavljen uzбудnim namotom i ima konstantnu uzбудnu struju koja ovisi samo o reakciji armature. U slučaju opterećenja motora stanje je određeno uvjetom ravnoteže u strujnom krugu armature (drugi Kirchhoffov zakon):

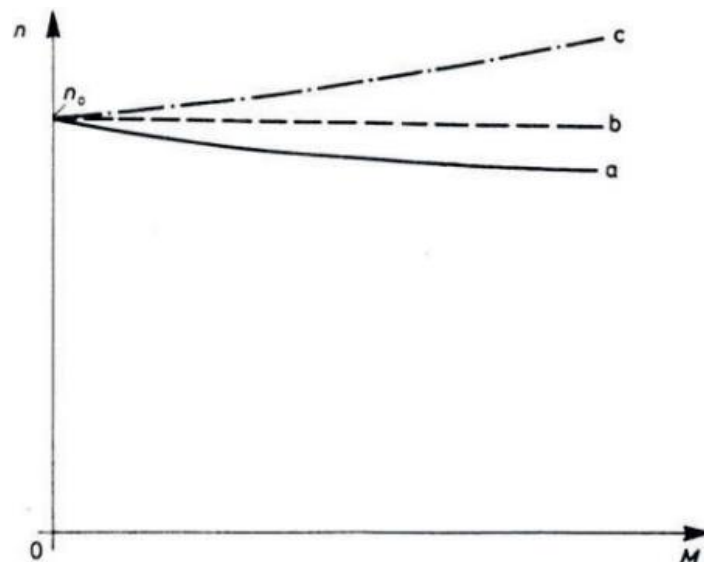
$$E = U - I_a \cdot R_a - \Delta U_\xi$$

Kombinacijom dvije prethodne jednadžbe dolazi se do izraza za brzinu vrtnje:

$$n = \frac{1}{k_e} \cdot \frac{U - I_a \cdot R_a - \Delta U_\xi}{\Phi_{gl}}$$

Prema Slici 2. za nezavisno uzbuđeni motor (uz pretpostavku konstantne vrijednosti glavnog magnetskog toka) vrijedilo bi da kod porasta struje rastu i padovi napona te se povećava moment stroja, a smanjuje se inducirani napon E . Također, padovi napona čine mali dio narinutog napona U , što znači da brzina vrtnje blago opada s porastom momenta (krivulja „a“ na Slici 3.).

Vanjska karakteristika istosmjernog motora prikazana je na Slici 3.:



Slika 3. Vanjska karakteristika istosmjernog motora s nezavisnom uzbudom [2]

Na Slici 3. se mogu uočiti neke dodatne zakonitosti za slučaj da glavni magnetski tok ipak nije potpuno konstantan, tj. da opada s povećanjem opterećenja:

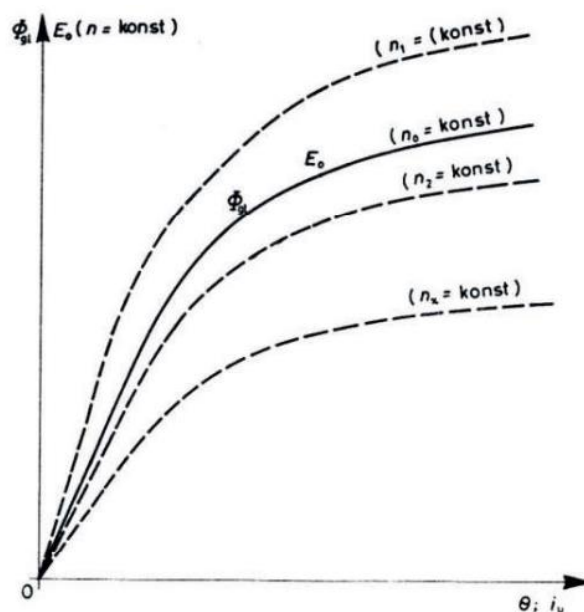
- vanjska karakteristika će biti „tvrđa“, tj. ležat će iznad krivulje „a“, a njezin oblik će ovisiti o tome pada li s povećanjem struje brže glavni magnetski tok ili inducirani napon
- situacija kada glavni magnetski tok opada brže nego inducirani napon prikazana je krivuljom „c“ (motor je nestabilan jer brzina vrtnje raste s opterećenjem)
- krivulja „b“ prikazuje slučaj kada glavni magnetski tok opada s porastom tereta podjednako kao inducirani napon E , što rezultira konstantnom brzinom vrtnje bez obzira na teret (granični slučaj stabilnosti)
- područje između krivulje „a“ i „b“ prikazuje situaciju kada magnetski tok opada sporije od inducirano napona E (tome se teži kod izrade) [2].

2.2. Uzbudni namot

Kod istosmjernih strojeva uzbudni dijelovi su elektromagneti, odnosno na polovima se nalaze uzbudni namoti. Postoji i izvedba s permanentnim magnetima na mjestu uzbude, ali tada se radi o tzv. specijalnim motorima za posebne namjene [3].

Klasična uzbuda elektromagnetima može imati jedan ili više uzbudnih namota na glavnim polovima stroja. Kad na raznim uzbudnim namotima teku struje, ukupno protjecanje koje stvara glavni magnetski tok jednako je zbroju svih protjecanja pojedinačnih namota. Pri tome se protjecanja raznih namota s istim smislom obilaženja struja oko pola potpomažu, tj. zbrajaju, a ona s međusobnom suprotnim smislom obilaženja struja oko pola odbijaju. U odbijanju one se međusobno djelomično ili potpuno poništavaju [2].

Osnovna karakteristika stroja je krivulja magnetiziranja (Slika 4.).

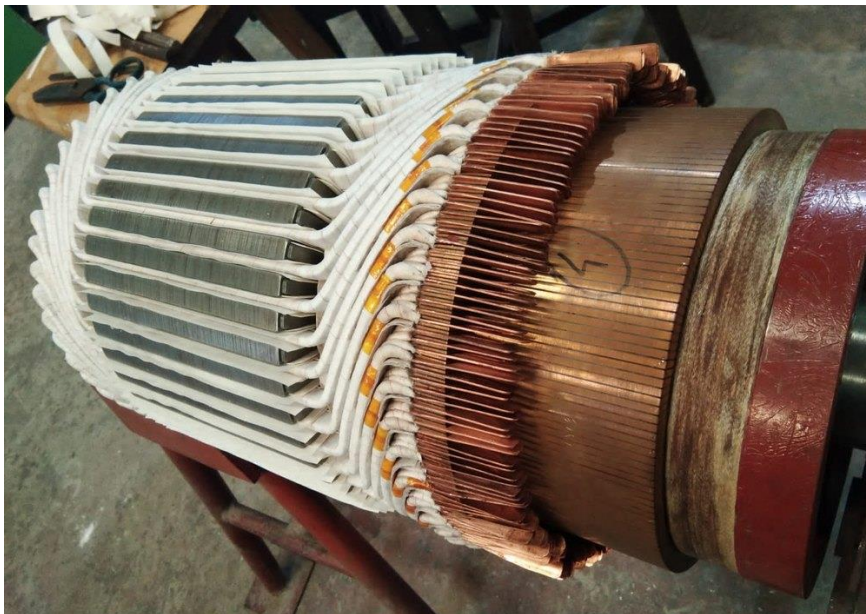


Slika 4. Krivulja magnetiziranja i karakteristika praznog hoda [2]

2.3. Namot armature

Magnetski tok Φ koji proizlazi iz uzбудnih namota izravno utječe na inducirani napon unutar armaturnih namota rotora. Kod izmjeničnih i istosmjernih motora struja u armaturi je izmjenična, jedina razlika je što istosmjerni motori imaju kolektor, koji pretvara istosmjernu struju napajanja u izmjeničnu struju unutar namota armature.

Na osovini rotora učvršćen je rotorski paket lameliranih limova. U utorima je paket namota armature koji se sastoji od svitaka. Krajevi svitaka su priključeni na kolektor, odnosno na pojedine kolektorske lamele [3].



Slika 5. Namot armature [5]

Armaturni namoti u istosmjernim strojevima ovise o specifičnim zahtjevima primjene, a mogu biti različitih struktura i izvedbi. Glavne vrste armaturnih namota su [2]:

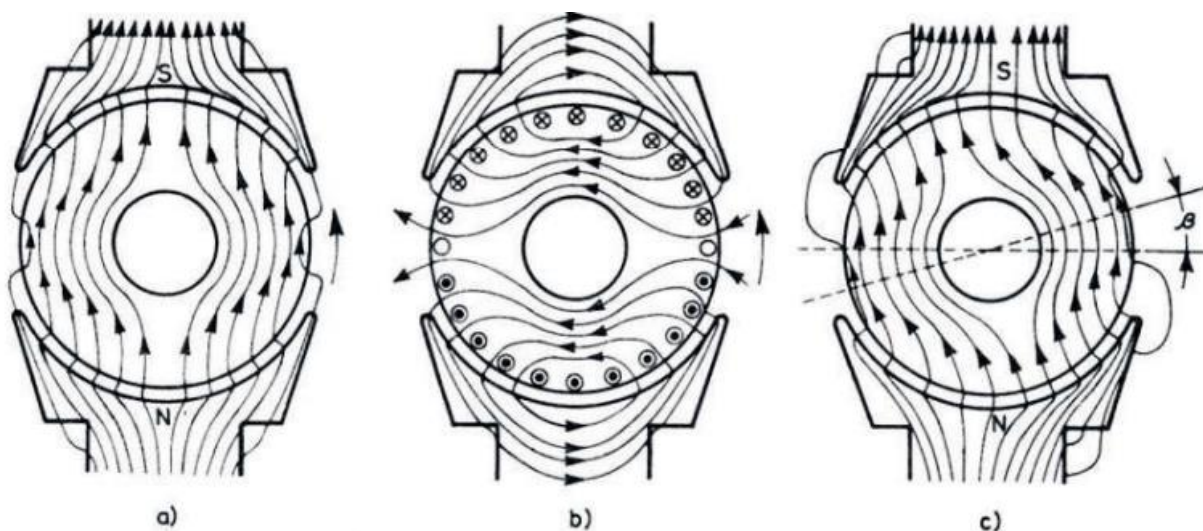
- petljasti
- valoviti
- bubnjasti.

Najvažniji pojam koji se veže za namot armature je reakcija armature. U idealnom praznom hodu kroz namot armature istosmjernog motora ne teče nikakva struja. Ako se motor optereti, u armaturnim vodičima će preko četkica poteći struja armature. Pri tome svaki vodič kojim protječe struja stvara magnetsko polje, koje nije postojalo kod praznog hoda.

Stvara se zajedničko ili rezultatno magnetsko polje, što znači da teret mijenja magnetsko polje po smjeru i iznosu u pojedinim točkama stroja. Ovaj cijeli proces nastaje sudjelovanjem armaturnog protjecanja u ukupnoj uzbuđi te se ova pojava naziva „reakcija armature“ [2].

Tu pojavu je zbog lakšeg razumijevanja stroja i zbog samog utjecaja koji ova pojava ima na gradnju istosmjernih strojeva potrebno malo detaljnije razmotriti. Na Slici 6. se nalazi shematski prikaz istosmjernih strojeva s magnetskim protjecanjem:

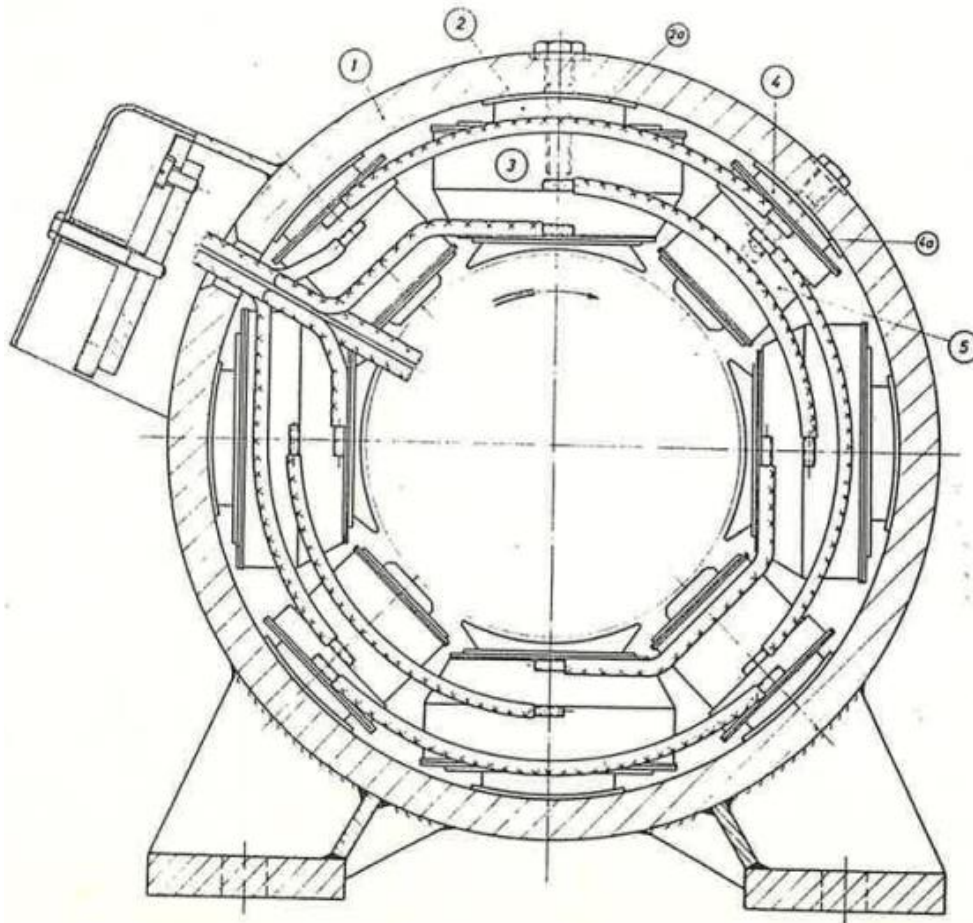
- Slika 6.a prikazuje magnetsko polje stroja u praznom hodu
- Slika 6.b prikazuje magnetsko polje armature, odnosno kad teče struja kroz vodiče rotora, a istovremeno uzbuđnim namotom ne teče nikakva struja
- Slika 6.c prikazuje rezultatno magnetsko polje (magnetsko polje uzbuđe plus magnetsko polje armature); prikazano je stanje kada uz normalnu uzbuđu sa statorske strane armaturom teče i struja tereta (realno stanje stroja).



Slika 6. Magnetsko polje istosmjernog stroja [2]

2.4. Shema istosmjernog motora

Shema četveropolnog istosmjernog motora dana je na Slici 7.



Slika 7. Shema četveropolnog istosmjernog stroja [3]

Glavni dijelovi, prema oznakama na Slici 7:

1. kućište statora
2. glavni pol
- 2.a podložni lim glavnog pola
3. namot glavnog pola
4. pomoćni polovi
- 4.a podložni lim pomoćnog pola
5. namot pomoćnog pola

Pomoćni polovi su relativno uski polovi smješteni u zoni između glavnih polova. Imaju namot od malo zavoja, ali većeg presjeka. Pomoćnim polovima teče struja armature. Pomoćni polovi utječu na rad stroja samo u prostoru između glavnih polova.

3. Prematanje uzбудnih namota

3.1. Pregled materijala koji se koriste

Prematanje uzbudnih namota zahtijeva upotrebu specifičnih materijala koji će omogućiti (nakon sigurne i točne ugradnje) dugotrajan i siguran rad motora.

Osnovni materijali su [1]:

- bakrena žica
- izolacijski materijali
- izolacijski papir
- smole i lakovi.

Bakrene žice su standardni materijali za prematanje zbog svojih odličnih vodljivih svojstava. Žice osiguravaju učinkovitu vodljivost električne energije s minimalnim gubicima. Najbitniji je promjer žice koji se odabire prema specifičnim zahtjevima motora, ovisno o struji koja će prolaziti kroz namote. [1]

Za sprječavanje kratkih spojeva između namota i dijelova motora najbitnija je kvalitetna izolacija. U izolacijske materijale uključujemo lakirane bakrene žice, izolacijski papir, trake i lakove. Sljedeća slika pokazuje različite izolacijske materijale. [1]

Izolacijski papir se koristi za dodatnu zaštitu između slojeva namota, dijelova motora i da ne dođe do kontakta između žica. Izolacijski papir je otporan na visoke temperature, što osigurava pouzdan rad motora.

Smole i lakovi se koriste za premazivanje namota nakon prematanja, pružajući dodatnu zaštitu od prašine, vlage i drugih vanjskih utjecaja. Također pomažu u stabilizaciji namota tako što smanjuju vibracije i moguće mehaničke probleme tijekom rada motora.

3.2. Opis potrebnih alata

Za prematanje uzбудnih namota potrebni su specijalizirani alati koji omogućuju ravnomjerno i precizno namatanje žice. Najvažniji alati za provjeru otpora i testiranje namota prikazani su u nastavku.

3.2.1. Prematalica

Osnovni alat za prematanje žice koji omogućuje ravnomjerno namatanje žice. Žica se namata na shemu koja je napravljena prema jezgri motora. Prematalica se može podesiti na različite brzine i debljinu žice. Najbitnije je da se osigura precizno namatanje. Jedan od važnijih dijelova prematalice je i brojač zavoja, bez kojeg postupak ne bi bilo moguće izvršiti. Brojač zavoja je uvijek dobro pratiti tijekom postupka zbog namatanja dodatne izolacije između zavoja i da se ne premaši zadani broj zavoja. [1]

3.2.2. Izolacijski alati

Izolacijske trake i papiri uz sebe moraju imati i alate za precizno rezanje i postavljanje – alate kao što su škare, skalpeli i uređaji za namotavanje (bandažiranje) namota kako bi se osigurala pravilna izolacija. [1]

3.2.3. Lemilica

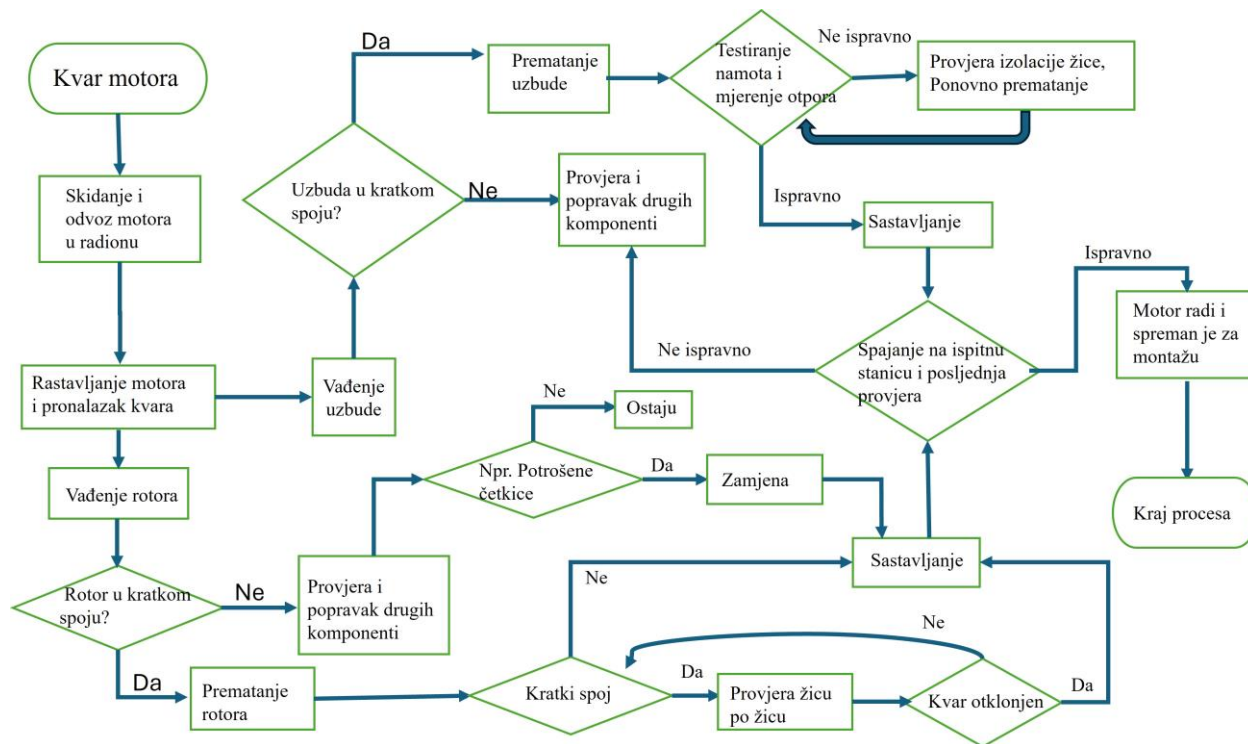
Lemilicu koristimo za spajanje krajeva žica s priključnim dijelovima motora. Kod lemljenja posebnu pažnju treba posvetiti pravilnoj tehnici lemljenja kako bi se izbjegli hladni spojevi i osigurala pouzdanost rada. Jedan je od ključnih alata koji pravilno tehnikom osigurava dobar električni kontakt u svakom dijelu motora. [1]

3.2.4. Testni uređaji

Nakon prematanja i sigurnog skidanja namota sa sheme za namatanje, potrebno je testirati namot. Provjera osigurava da je namot ispravan i da nema kvarova. Npr. koristi se multimetar, uređaj za testiranje izolacije i druge slične naprave za mjerenje otpora, provjeru izolacije i testiranje kontinuiteta. [1]

3.3. Proces prematanja uzбудnih namota

Pri procesu prematanja uzbudnih namota treba se držati nekoliko ključnih koraka koji osiguravaju pravilno namatanje namota. Ovaj postupak uključuje osam koraka koji su opisani u nastavku.



Slika 8. Dijagram toka

3.3.1. Prekid napajanja i skidanje motora

Motor je u kvaru. Zbog zaštite radnika potrebno je iskopčati motor s napajanja. Kad je to odrađeno, slijedi siguran rad i skidanje motora s postolja.

3.3.2. Rastavljanje motora

Motor se nalazi u radionici. Pripremljen je radni stol za motor, na stolu se skidaju svi dijelovi motora. Kad se sve kompletno rastavi, slijedi utvrđivanje kvara. Pomno se pregledavaju stator i rotor.

3.3.3. Vađenje uzbudnih namota

Prije vađenja uzbudnih namota izvađeni su poklopci kućišta, lijeva i desna strana kućišta, četkice i rotor zajedno s ležajevima na osovini. Radi se provjera rotora pomoću instrumenta za mjerenje otpora. Instrument mjeri otpor između krajeva namota rotora; ako otpora nema, rotor je

u kratkom spoju. Ovisno o izvedbi motora slijedi skidanje uzbude. Lemilicom je potrebno odlemiti spojeve na uzbudi, zatim odviti i skinuti vijke koji pridržavaju željeznu jezgru s uzbudnim namotom. Provodi se mehanička provjera izolacije golim okom, traže se oštećenja na izolaciji ili mjesto proboja.

3.3.4. Priprema jezgre

Skidanje stare jezgre i namota. Prije prematanja, potrebno je temeljito očistiti i provjeriti da nema ostataka starog namota ili nečistoća. Željezna jezgra mora biti glatka i čista kako bi se osiguralo ravnomjerno namatanje namota.

3.3.5. Namatanje žice

Uz pomoć prematalice i brojača zavoja, žica se ravnomjerno namata na jezgru ili u ovom slučaju na shemu za namatanje. Vrlo je važno održavati napetost žice konstantnom i osigurati da su svi slojevi ujednačeni i dobro stisnuti jedan kraj drugoga.

3.3.6. Izolacija

Žica je izolirana lakom koji podnosi visoke temperature. Temperatura ovisi o klasi izolacije motora. Primjer definiranih temperatura za E klasu:

- maksimalna dozvoljena temperatura pri nazivnom opterećenju 120 °C
- maksimalna dozvoljena prosječna temperatura namota pri nazivnom opterećenju 75 °C
- maksimalna dozvoljena prosječna temperatura u kratkom spoju 135 °C.

Između slojeva žica postavlja se traka ili papir, čime se sprječava dodir između vodiča. Izolacija je jedan od kritičnih koraka jer sprječava kratke spojeve i osigurava dugotrajan rad motora.

3.3.7. Završno lemljenje i izolacija

Nakon što su svi namoti završeni i provjereni, krajevi namota (žice) leme se na odgovarajuće priključne točke. Cijeli namoti i jezgre se zatim premazuju lakom ili smolom kako bi se dodatno osigurala zaštita od proboja između namota ili između namota i statora.

3.3.8. Testiranje

Nakon prematanja, namoti se testiraju kako bi se osigurala ispravnost svakog namota. To uključuje mjerenje otpora, provjeru izolacije i testiranje kontinuiteta.

3.3.8.1. Mjerenje otpora

Mjeri se otpor svakog uzbudnog namota. Izmjereni otpor kod sva četiri namota je približno 24,122 Ω . Kratka provjera može se napraviti tako što napon uzbude podijelimo sa strujom uzbude. Taj dobiveni otpor treba podijeliti na 4 dijela, jer imamo 4 uzbudna namota.

3.3.8.2. Provjera rotora i kolektora

Provjera rotora vrši se instrumentom za mjerenje otpora između krajeva armaturnog namota. „Palicu“ instrumenta treba postaviti točni na jedan lim armature kako bi instrument pokazao točnu vrijednost. Kad se izvrši provjera svih limova na armaturi (i oni su dobri) slijedi provjera kolektora. Provjerava se da nema mehaničkih oštećenja na lamelama kolektora. Ako nema oštećenja, kolektor se očisti brusnim papirom.

3.3.8.3. Promjena četkica i ležajeva, te pokus praznog hoda

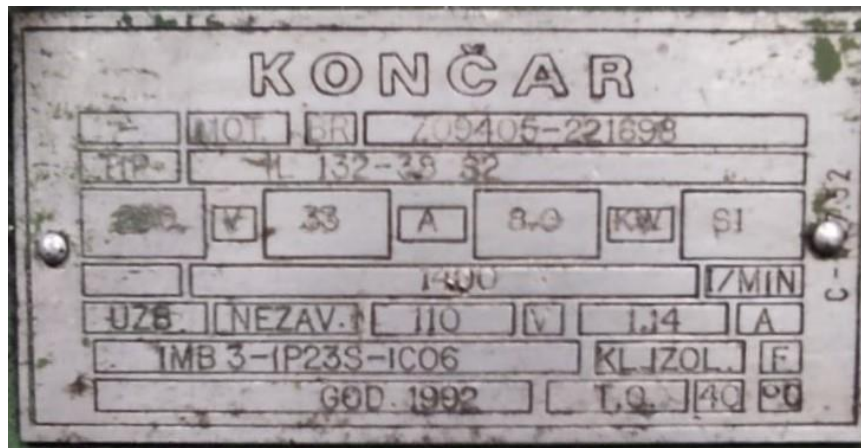
Promjena četkica i ležajeva na osovini rotora spada u servis motora. Nakon što su se promijenili svi uzbudni namoti i provjeren je rotor. Kreće priprema za prazni hod u kojem će se mjeriti brzina vrtnje u praznom hodu, provjeravati će se i mehaničke komponente motora. Brzina vrtnje u praznom hodu iznosi oko 1480 okretaja u minuti. Brzina je izmjerena instrumentom za lasersko mjerenje brzine vrtnje. Na osovinu rotora bilo je potrebno zalijepiti komadić trake za izoliranje kako bi laser mogao izmjeriti brzinu vrtnje. Nije bilo mehaničkih problema kod praznog hoda. Time se završava testiranje i motor je spreman za upotrebu.

4. Praktični primjer prematanja uzбудnih namota

4.1. Opis motora

U ovom poglavlju, fokus će biti na konkretnom primjeru istosmjernog motora s nezavisnom uzbuđom, odrađenom u tvrtki Elka. Motor je srednje snage, namijenjen je za drobilicu metala koji se reciklira, namijenjen je za industrijsku primjenu. Istosmjerni motor s nezavisnom uzbuđom potreban je za drobilicu posebno jer je potrebna precizna regulacija i stabilan rad pod promjenjivim opterećenjem.

Specifikacije motora prikazane su na Slici 8. (natpisna pločica), te u tablici ispod slike. Cijeli motor je prikazan na Slici 9.



Slika 9. Natpisna pločica motora (slikano u Elki 22. 4. 2024.)

Proizvođač	KONČAR			
	MOTOR	Serijski broj	Z.09405 - 221698	
PIR	IL 132-38 32			
Armatura	Napon: 290 V	Struja: 33 A	Snaga: 8kW	Izvedba S1
Brzina vrtnje	1400 okr/min			
Uzbuda	NEZAVISNA	Napon 110 V	Struja 1.14 A	
IMB 3 - IP23S - ICO6		Klasa izolacije		F
Godina proizvodnje: 1992.		Temperatura okoline		40 °C



Slika 10. Cijeli motor (slikano u Elki 22. 4. 2024.)

4.2. Primjena teorije na praktičnom primjeru

Prematanje uzbude motora provodi se prema principima objašnjenim u prethodnim poglavljima. Postupak će opisivati dijelove koji su odrađeni u Elki. Ključni koraci u procesu su:

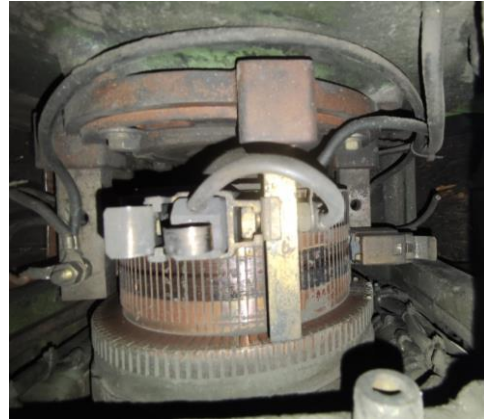
- priprema motora
- pronalazak kvara
- namatanje uzбудnih namota
- stavljanje uzbude na jezgru i izoliranje uzbude
- vraćanje namota na stator, lemljenje i završna izolacija
- sastavljanje motora
- spajanje napona na uzbudu.

4.2.1. Priprema motora

Isključeni motor je odspojen s napajanja te je iz pogona doveden u radionicu na popravak. Početak procesa počinje rastavljanjem motora i skidanjem poklopca za zrak te lijevog i desnog dijela kućišta. Prije skidanja kućišta treba skinuti osigurač na remenici, a nakon njega i samu remenicu. Vidljivo je kućište, stator (i njegovi dijelovi), rotor, lager se nalazi u kućištu, a na drugoj strani nosač četkica, kolektor i četkice.



*Slika 11. Lijeva strana motora
(slikano u Elki 22. 4. 2024.)*



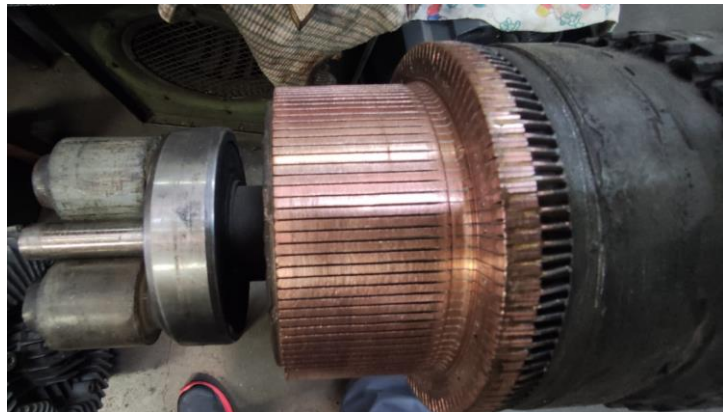
*Slika 12. Desna strana motora
(slikano u Elki 22. 4. 2024.)*

4.2.2. Pronalazak kvara

Kod rastavljenih dijelova motora kreće se s utvrđivanjem kvara, traže se mehanička oštećenja na statoru ili rotoru vidljiva okom. Zatim, ako ništa nije vidljivo golim okom, traje daljnja provjera kvara. Svi segmenti osim uzbude su dobri. Slijedi skidanje sva četiri uzбудna namota i ponovno namatanje uzbude.



*Slika 13. Rotor i stator bez kućišta
(slikano u Elki 22. 4. 2024.)*

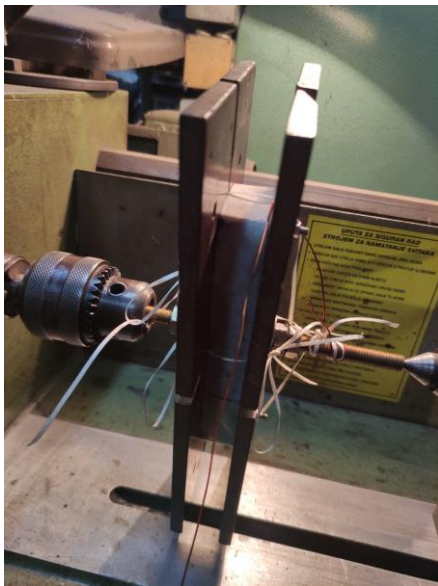


*Slika 14. Očišćeni kolektor i namoti rotora
(slikano u Elki 22. 4. 2024.)*

4.2.3. Namatanje uzбудnih namota:

Novo namatanje počinje postavljanjem prvog sloja žice na shemu uzbude. Shema se nalazi na prematalici kojom opravljamo nožnom pedalom, a rukama napinjemo i raspoređujemo žicu.

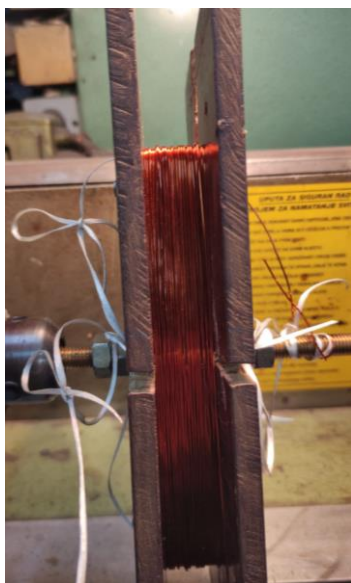
Svaki sloj mora biti ravnomjerno raspoređen i namotan. Postavlja se izolacija svakih 350 zavoja, izolacijska traka je samo dodatni izolator između zavoja uzbude. U postupku je korištena bakrena žica izolirana lakom, promjera 0,8 mm.



*Slika 15. Shema na prematalici
(slikano u Elki 26. 6. 2024.)*



*Slika 16. Shema na prematalici
(slikano u Elki 26. 6. 2024.)*



*Slika 17. Početak namatanja
(slikano u Elki 26. 6. 2024.)*



*Slika 18. Stavljanje izolacijske trake na 350 zavoja
(slikano u Elki 26. 6. 2024.)*



*Slika 19. Brojač zavoja na prematalici
(slikano u Elki 26. 6. 2024.)*

4.2.4. Stavljanje uzbude na jezgru i izoliranje uzbude

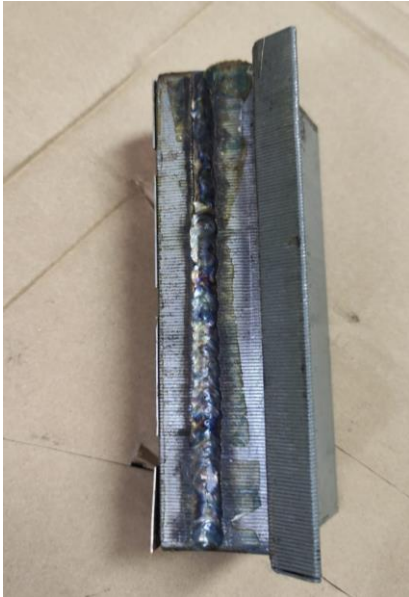
Skidaju se uzbudni namoti sa sheme za namatanje, namot je učvršćen trakom za bandažiranje kako žice ne bi smetale jezgri ili kod vraćanja u stator. Jezgra je očišćena od nečistoća te je bitna provjera da jezgra na sebi nema ostataka starog namota. Sljedeći korak je postavljanje jezgre unutar namota. Nakon toga treba posebnim izolacijskim papirom izolirati namot od jezgre, armature i mase.



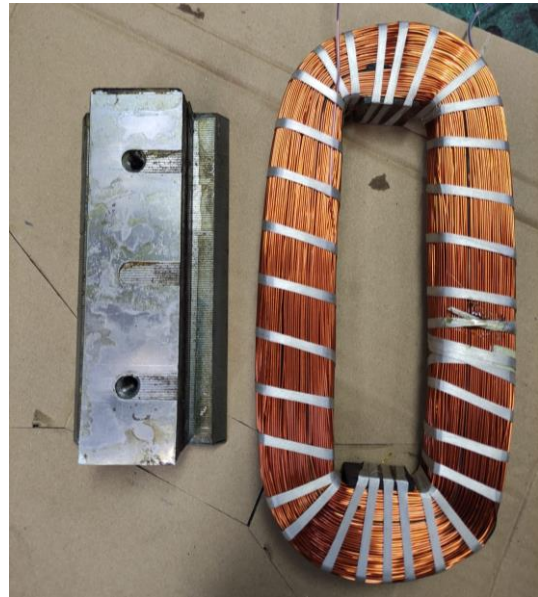
*Slika 20. Uzbudni namot skinut sa sheme
(slikano u Elki 26. 6. 2024.)*



*Slika 21. Uzbudni namot bandažiran trakom
(slikano u Elki 26. 6. 2024.)*



*Slika 22. Željezna jezgra slikana bočno
(slikano u Elki 26. 6. 2024.)*



*Slika 23. Željezna jezgra i uzbudni namot
(slikano u Elki 26. 6. 2024.)*



Slika 24. Namot i jezgra izolirani izolacijskim papirom (slikano u Elki 26. 6. 2024.)

4.2.5. Vraćanje namota u stator, lemljenje i završna izolacija

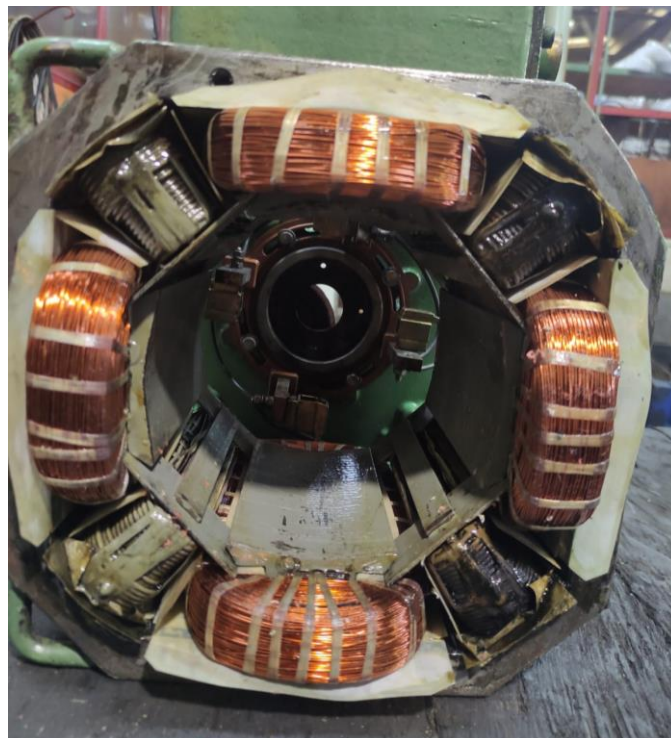
Namot i jezgra (međusobno izolirani izolacijskim papirom) vraćaju se u stator. Nakon što je namot na mjestu, krajevi žica se leme na priključne točke. Početak prve uzbuđene ostaje slobodan odnosno ide na „+“ priključak („plus“ uzbuđenih namota), a zatim završetak prve uzbuđene ide na završetak druge kako se ne bi promijenio smjer struje. S početka druge idemo na početak trećeg namota, ponovno na početak. Onda opet s treće uzbuđene sa završetka idemo na završetak četvrte i završimo na početku četvrte („minus“ uzbuđenih namota). Zatim se sva četiri uzbuđena namota premazuju zaštitnim lakom. Lak pomaže u zaštiti namota od vanjskih utjecaja i dodatno stabilizira namot tijekom rada.



Slika 25. Namot uzbude na svojem mjestu u statoru

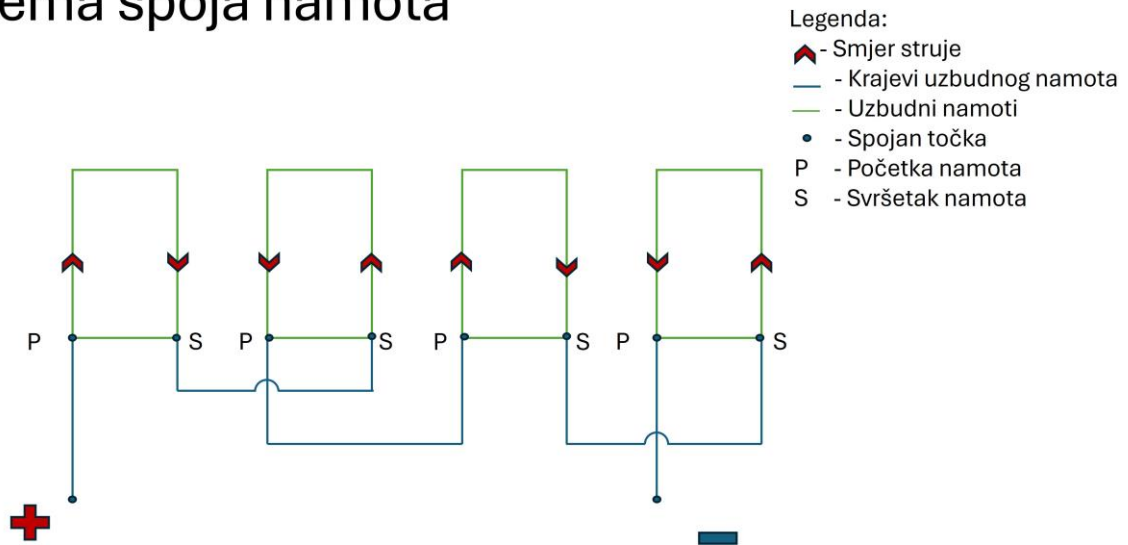


Slika 26. Pomoćni namot i utor uzbuđenog namota (slikano u Elki 26. 6. 2024.)



Slika 27. Kompletni stator sa sva četiri uzbuđna namota (slikano u Elki 26. 6. 2024.)

Shema spoja namota



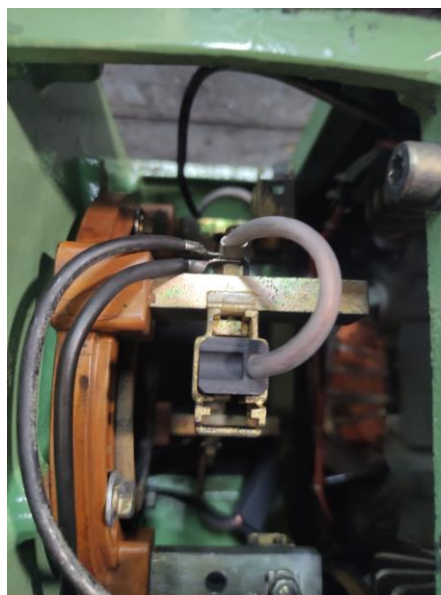
Slika 28. Shema po kojoj je spojen namot (izrađena u PowerPointu)

4.2.6. Sastavljanje motora

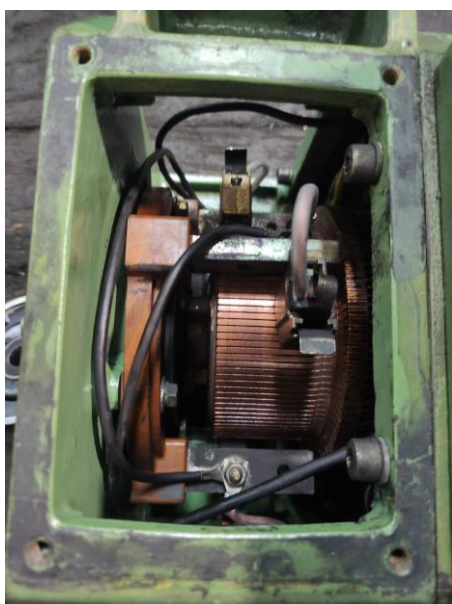
Uzbudni namoti idu u utor, osiguravaju se vijcima i podlažu se limovima. Pomoćni namoti se nalaze u svojem utoru, nemaju vijke nego su samo pričvršćeni limovima (lim se stavlja u zasun pomoćnog pola i između dvije željezne jezgre). Potrebna je provjera statora i uzbudnih namota. Provedeno je testiranje koje uključuje mjerenje otpora namota i provjeru izolacije. Rotor je provjeren instrumentom za provjeru kratkog spoja između zavoja, kazaljka na instrumentu pokazuje otpor između krajeva rotora; ako otpora nema, rotor je u kratkom spoju. Kolektor nema nikakvih mehaničkih oštećenja pa je samo očišćen brusnim papirom. Ako kolektor ima većih oštećenja, on se mijenja ili se tokari na tokarilici (ako je tokarenje potrebno, skida se veći sloj na kolektoru kako bi se došlo do glatke površine i čiste se zazori između dijelova kolektora). Stavljaju se nove četkice na koje treba obratiti dodatnu pozornost kao se ne bi oštetile tijekom stavljanja u njihove utore. Sastavljen je kompletni motor.



Slika 29. Nova četkica (slikano u Elki 28. 6. 2024.)



*Slika 30. Četkica u utoru
(slikano u Elki 28. 6. 2024.)*



Slika 31. Kolektor i četkice (slikano u Elki 28. 6. 2024.)



*Slika 32. Kućište i lijeva strana motora
(slikano u Elki 28. 6. 2024.)*

4.2.7. Spajanje napona na uzбудu i posljednje provjere

Sve je ponovno provjereno, a motor je spojen na ispitnu stanicu. Napon uzbuđe je 110 V, napon je narinut na uzbuđu. Motor se lagano pokreće dok uzbuđa stvara glavni magnetski tok. Motor se pokrenuo i time je vidljivo da napon uzbuđe odgovara našem broju namota. Gasi se napajanje i odspaja se s motora. Motor više nije pod naponom, što omogućava nastavak radova. Potrebno je još postaviti sve poklopce natrag na motor i zapisati datum namatanja uzbuđe.

4.3. Puštanje motora u pogon

Puštanje u pogon kod motora ovisi o izvedbi, kod većine motora postoji mehanički spoj stroja koji pokreće. To kod većine motora unaprijed određuje pokreće li se on pod teretom ili bez tereta. Prije priključka armaturnog strujnog kruga na mrežu potrebno je potpuno uzbuditi motor, da se ne pojavi mogućnost pobjega motora zbog slabog magnetskog polja. Dakle, istosmjerni motor treba pokretati pri punom iznosu magnetskog polja.

Ako se nakon toga priključi armatura uzbuđenog motora na puni napon izvora koji napaja motor, u prvom trenutku narinutom naponu suprotstavljaju se ukupni radni i rasipni induktivni otpori armaturnog kruga (R_a i L_a). Budući da nema inducirano napona E (motor stoji), znači da motor s nezavisnom uzbuđom kreće u kratkom spoju. Ako motor ne krene odmah, postoji mogućnost da je zakočen, ali nakon kratkog vremena u njegovom armaturnom krugu poteče struja kratkog spoja [3]:

$$I_k = \frac{U}{R_a}$$

Ako se motor pokrene prije nego nastupi brza prijelazna pojava nastanka struje armature, tj. prije nego nastupi struja I_k , struja možda neće dosegnuti iznos I_k jer se počeo inducirati protunapon E . Zbog vrlo malog rasipnog induktiviteta L_a , električna prijelazna pojava kratko traje, pa ipak moramo pretpostaviti da će se dogoditi struja I_k . Ta struja je kod istosmjernih strojeva najopasnija za kolektor jer je mnogo veća od nazivne. To znači da se nezavisno uzbuđeni motori trebaju pokretati sa smanjenim naponom ili se u armaturni strujni krug dodaje predotpor R_{pred} da se smanji struja prilikom pokretanja.

Na praktičnom dijelu na ispitnoj stanici je postepeno podizan napon do 110 V koliki je nazivni napon uzbuđe [3].



Slika 33. Napon i struja na ispitnoj stanici (slikano u Elki 28. 6. 2024.)

4.4. Svrha prematanja

Svrha ovog prematanja je jasna – dogodio se kvar na uzбудnim namotima i motor je stao. Bilo je potrebno pronaći i otkloniti kvar. Osim otklanjanja kvara, prematanjem uzbude je dobiveno još nekoliko bitnih stvari:

- bolja izolacija.

4.4.1. Bolja izolacija

Novi izolacijski materijali pružaju bolju otpornost na mehanička naprezanja i bolju otpornost na visoke temperature, što produžuje vijek namota i samog motora.

5. Zaključak

Kratko je napisano nešto o osnovama istosmjernih motora. Nabrojani su glavni dijelovi: stator, rotor, kolektor, četkice, okvir, ležajevi i poklopac kućišta. Objasnjene su njihove glavne funkcije.

U drugom dijelu su opisane osnove istosmjernih strojeva i utjecaj pojedinih dijelova na rad motora. Treći dio sadrži opis potrebnih alata i materijala za provođenje kvalitetnog prematanja uzbudnih namota. Prematanje istosmjernih motora je tehnički zahtjevan postupak koji uključuje visoku razinu stručnosti i preciznosti. Iako postupak nije automatiziran, sam proces prematanja nudi značajne prednosti kao što su smanjenje troškova i vremena za povratak motora u funkcionalno stanje. Troškovi prematanja uključuju radni sat kvalificiranog majstora i potrošne materijale (bakrena žica, ležajevi, četkice i izolacijski materijali), ali ti troškovi su daleko niži u usporedbi s troškovima nabave novog motora. Vremenski okvir za prematanje je znatno kraći od razdoblja isporuke novog motora, što doprinosi efikasnom i kontinuiranom radu industrijskih postrojenja.

Pravilno zatezanje i namatanje tankih žica namota uzbude jedni su od fizički težih tehničkih zahtjeva ovog procesa, ali to izravno utječe na dugotrajnost i performanse samog motora. Nedostatak iskusnih majstora u ovom području predstavlja problem, budući da proces ne zahtijeva samo teorijsko znanje nego i iziskuje dugogodišnje iskustvo u praktičnoj primjeni.

Prematanje istosmjernih motora nije samo ekonomski isplativa opcija. Prematanje znatno produljuje radni vijek samog stroja, ali ujedno i cijelog pogonskog sustava. To znatno smanjuje potrebu za čestom promjenom skupe opreme i smanjuje financijske gubitke.

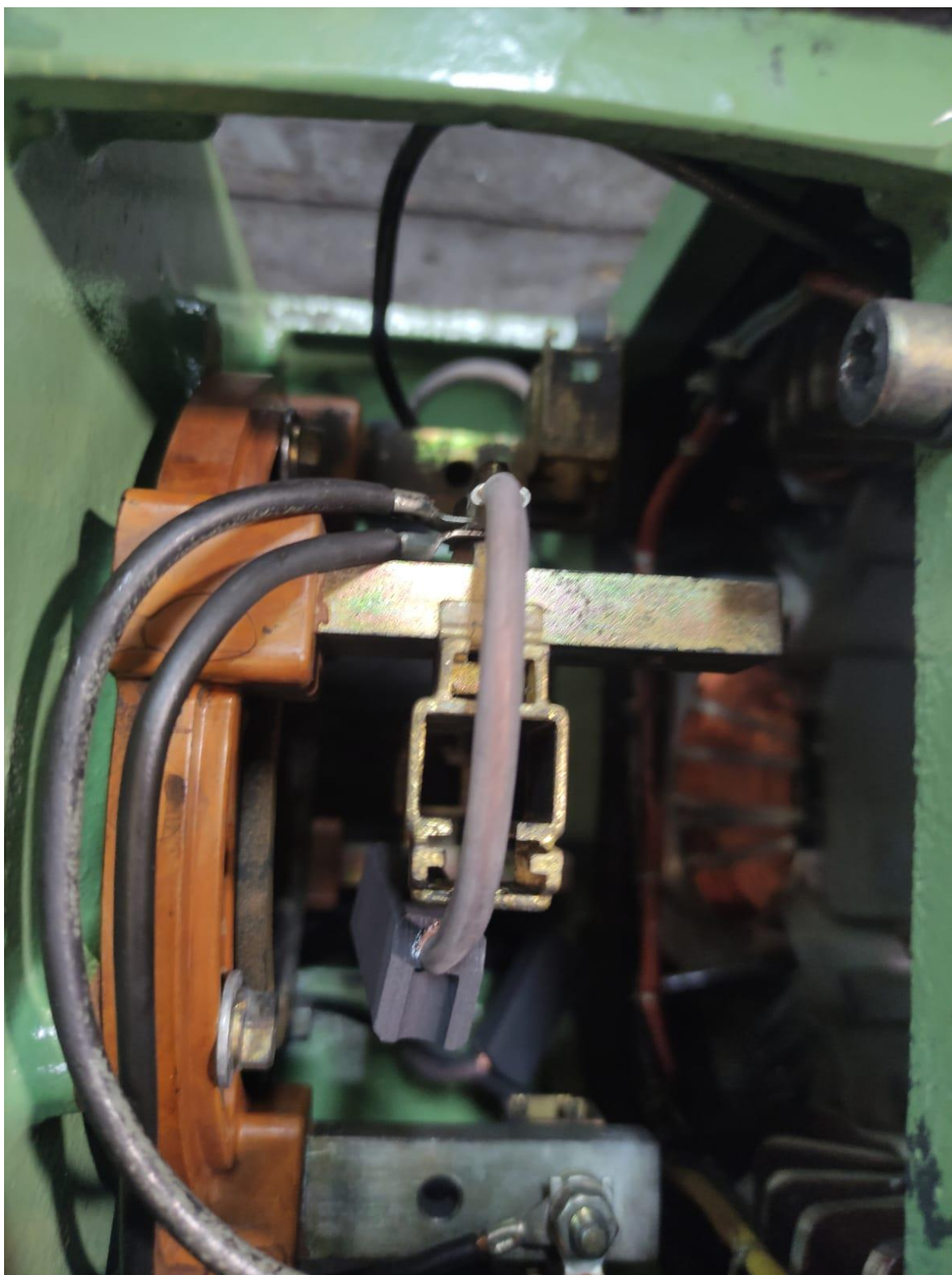
6. Literatura

- [1] Neven Srb: Elektromotori, proračun, prematanje, popravak i mjerenje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1987.
- [2] Berislav Jurković, Zlatko Smolčić: Kolektorski strojevi, Školska knjiga, Zagreb, 1986.
- [3] Anton Dolenc, Berislav Jurković: Kolektorski strojevi, Sveučilište u Zagrebu, Elektrotehnički fakultet, 1970.
- [4] [DC MOTOR | SEMINARSKI RAD IZ ELEKTRONIKE \(maturski.org\)](#) [4.rujna 2024.]
- [5] [TRACTION MOTOR ARMATURE at best price in New Delhi | ID: 26333118388 \(indiamart.com\)](#) [12. rujna 2024.]

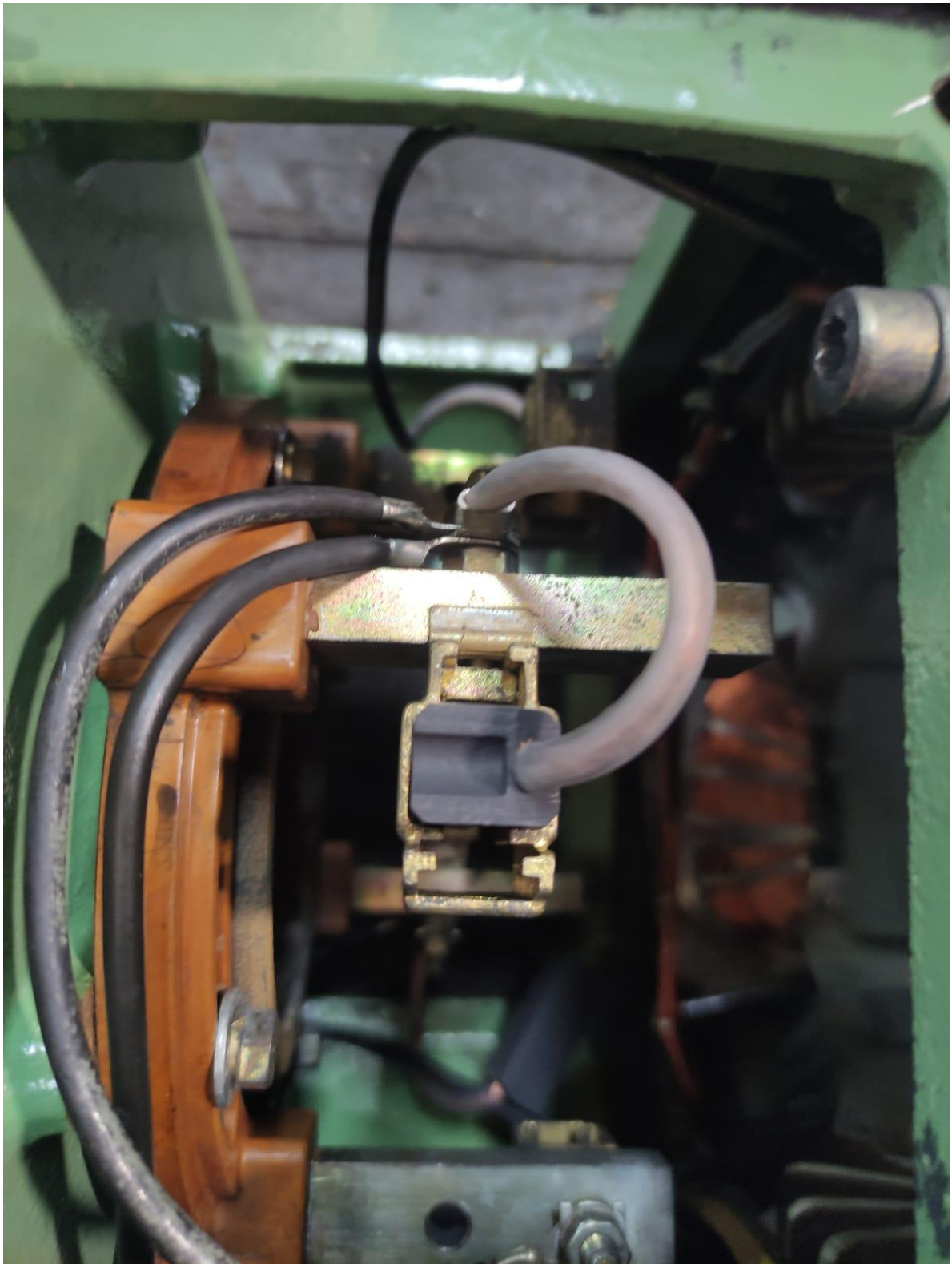
Popis slika

Slika 1. Primjer istosmjernog motora	2
Slika 2. Shema istosmjernog motora s nezavisnom uzbuđom [3]	3
Slika 3. Vanjska karakteristika istosmjernog motora s nezavisnom uzbuđom.....	4
Slika 4. Krivulja magnetiziranja i karakteristika praznog hoda	5
Slika 5. Namot armature	6
Slika 6. Magnetsko polje istosmjernog polja.....	7
Slika 7. Shema četveropolnog istosmjernog stroja.....	8
Slika 8. Natpisna pločica motora	14
Slika 9. Cijeli motor.....	15
Slika 10. Lijeva strana motora	16
Slika 11. Desna strana motora	16
Slika 12. Rotor i stator bez kućišta	16
Slika 13. Očišćeni kolektor i namoti rotora	16
Slika 14. Shema na prematalici	17
Slika 15. Shema na prematalici	17
Slika 16. Početak namatanja	17
Slika 17. Stavljanje izolacijske trake na 350 zavoja.....	17
Slika 18. Brojač zavoja na prematalici	18
Slika 19. Uzbuđni namot skinut sa sheme	18
Slika 20. Uzbuđni namot bandažiran trakom	18
Slika 21. Željezna jezgra slikana bočno	19
Slika 22. Željezna jezgra i uzbuđni namot	19
Slika 23. Namot i jezgra izolirani izolacijskim papirom	19
Slika 24. Namot uzbuđe na svojem mjestu u statoru	20
Slika 25. Pomoćni namot i utor uzbuđnog namota	20
Slika 26. Kompletni stator sa sva četiri uzbuđna namota.....	20
Slika 27. Shema po kojoj je spojen namot.....	21
Slika 28. Nova četkica	22
Slika 29. Četkica u utoru	22
Slika 30. Kolektor i četkice	22
Slika 31. Kućište i lijeva strana motora	22
Slika 32. Napon i struja na ispitnoj stanici	23

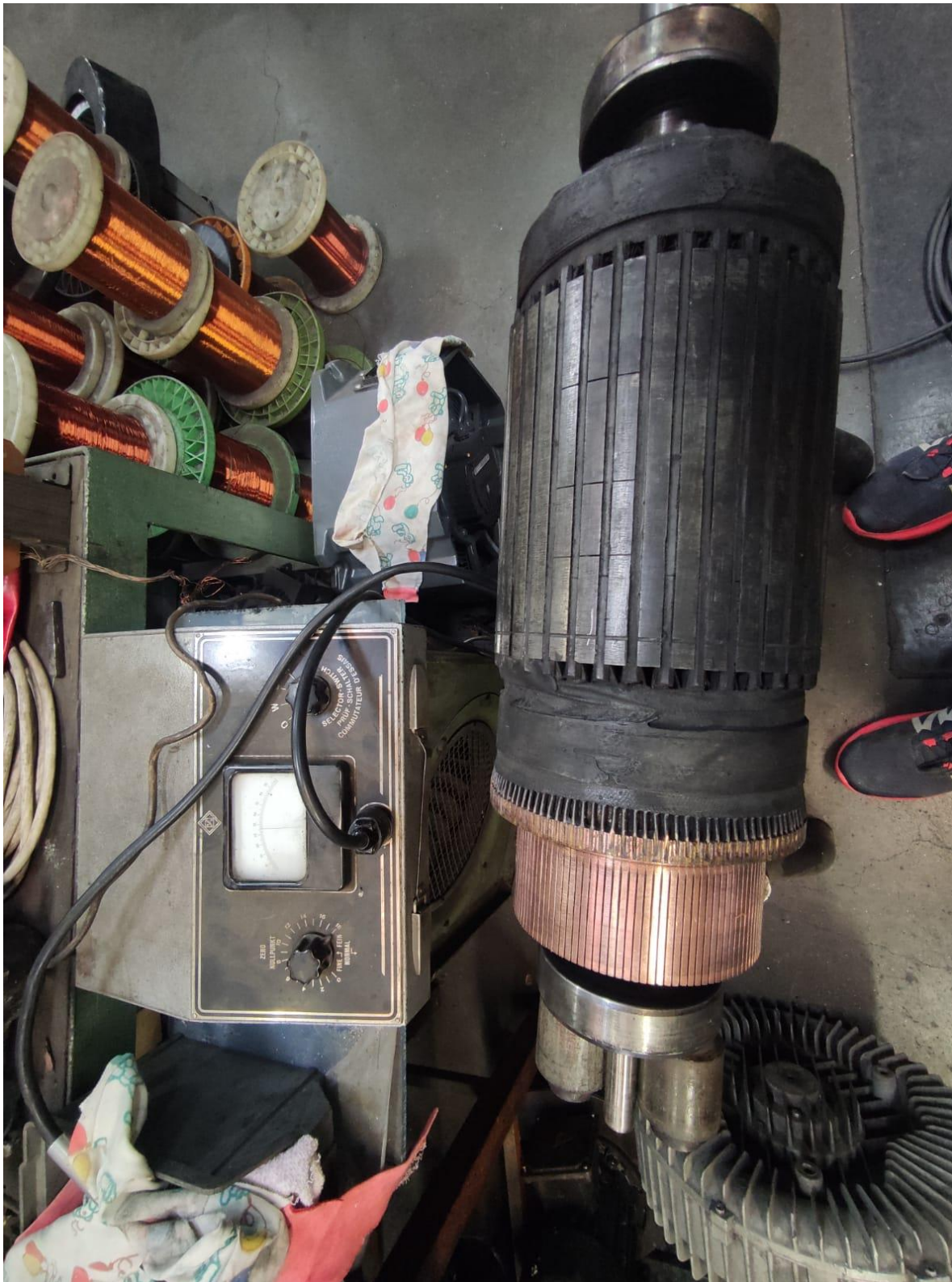
Prilozi



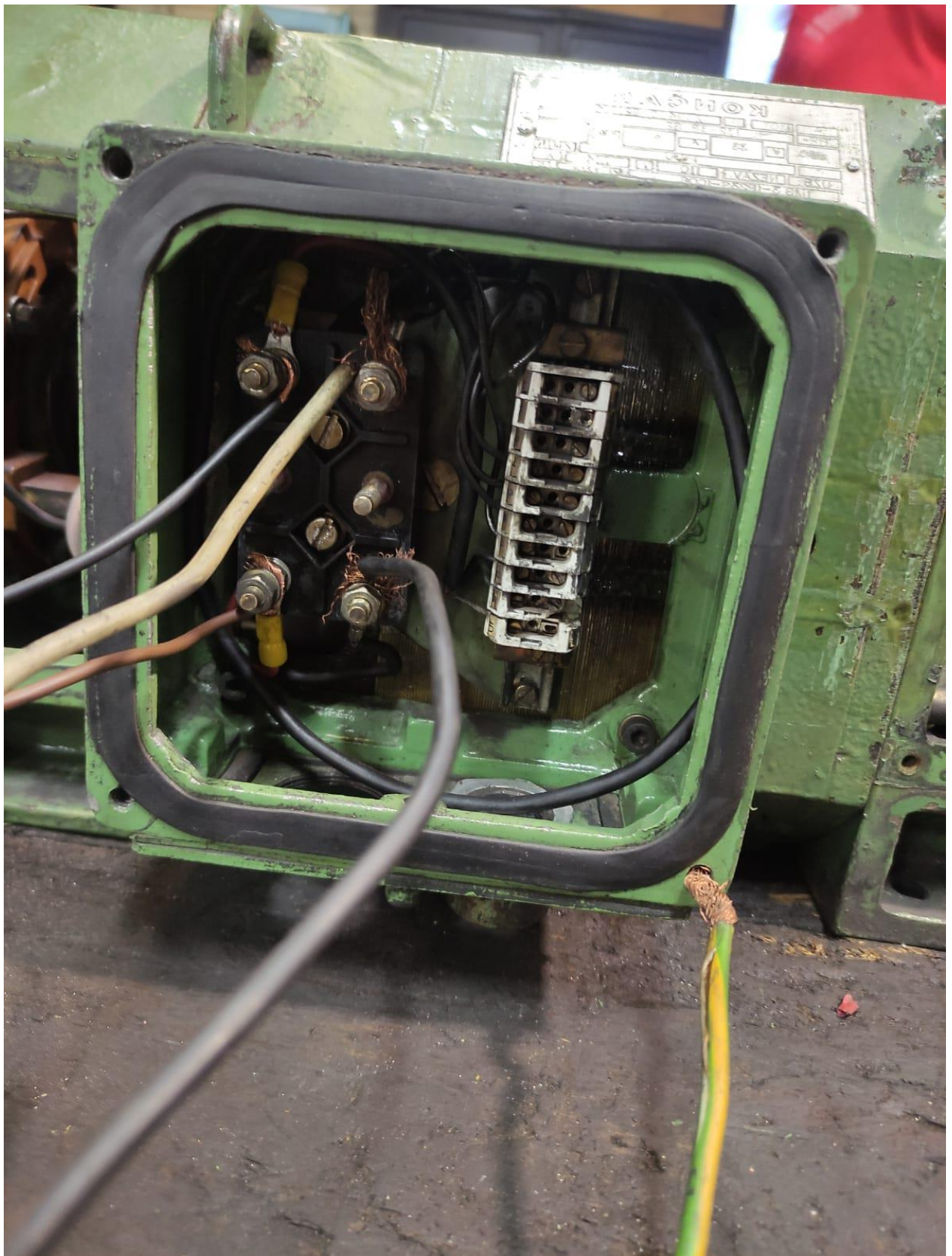
Prilog 1 Nova četkica izvan držača četkica



Prilog 2 Nova četkica u utoru držača četkica



Slika 3 Provjera armaturnog namota



Prilog 4 Spoj motora za pokus praznog hoda