

Opterećenje istosmjernog motora s paralelnom uzбудom

Cvetko, Matija

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:510342>

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

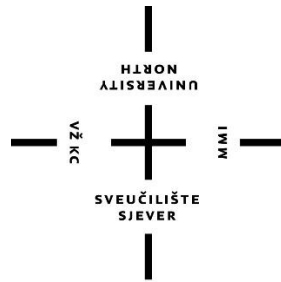
Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-21**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





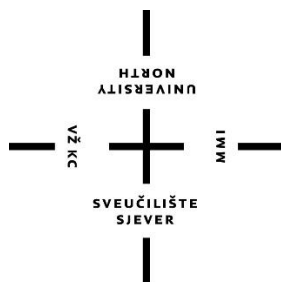
**Sveučilište
Sjever**

Završni rad br. 486/EL/2021

**OPTEREĆENJE ISTOSMJERNOG MOTORA S
PARALELNOU UZBUĐOM**

Matija Cvetko, 2039/336

Varaždin, srpanj 2021. godine



Sveučilište Sjever

Odjel za Elektrotehniku

Završni rad br. 486/EL/2021

OPTEREĆENJE ISTOSMJERNOG MOTORA S PARALELNO M UZBU DOM

Student

Matija Cvetko, 2039/336

Mentor

doc. dr. sc. Dunja Srpak, dip. ing. el.

Varaždin, srpanj 2021. godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za elektrotehniku

STUDIJ preddiplomski stručni studij Elektrotehnika

PRISTUPNIK Matija Cvetko

MATIČNI BROJ 2039/336

DATUM 25.06.2021

KOLEGIJ Elektromotorni pogoni

NASLOV RADA Opterećenje istosmjernog motora s paralelnom uzbudom

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU The load of a parallel excitation DC motor

MENTOR doc.dr.sc. Dunja Srpak dipl.ing.el.

ZVANJE docent

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. mr.sc. Ivan Šumiga dipl.ing.el., viši predavač
2. doc.dr.sc. Dunja Srpak dipl.ing.el.
3. Miroslav Horvatić dipl.ing.el., predavač
4. Josip Srpak dipl.ing.el., viši predavač, rezervni član
- 5.

Zadatak završnog rada

BROJ 486/EL/2021

OPIS

U završnom radu je potrebno opisati način rada i vrste uzbude istosmjernih motora, a zatim opisati različita pogonska stanja s naglaskom na motor sa paralelnom uzbudom. Provesti ispitivanja i mjerenja na istosmjernom motoru s paralelnom uzbudom u različitim pogonskim režimima i predstaviti rezultate.

U radu je potrebno:

- opisati način rada i vrste uzbude istosmjernih motora,
- opisati različita pogonska stanja motora s paralelnom uzbudom,
- provesti ispitivanja praznog hoda i opterećenja na motoru sa paralelnom uzbudom,
- prikazati rezultate testiranja i dobivene parametre stroja kroz izradu bilanci snage,
- analizirati dobivene rezultate pokusa s obzirom na korisnost motora.

ZADATAK URUČEN

6.7.2021.



POTPIS MENTORA

□ **Predgovor**

Zahvaljujem svojoj mentorici, doc. dr. sc. Dunji Srpak dipl. ing. el. na pomoći i razumijevanju koje je doprinijelo pri samoj izradi rada. Želim uputiti zahvalu Elektrostrojarskoj školi Varaždin na ukazanom povjerenju i ustupanju kabineta za određivanje praktičnog djela zadatka. Također se zahvaljujem svim kolegama studentima, profesorima te djelatnicima Sveučilišta Sjever. Posebne zahvale mojoj obitelji na strpljenju i podršci koju su mi pružali tokom školovanja.

Sažetak

U ovom završnom radu ispitan je istosmjerni motor (DC motor) s paralelnom uzбудom odnosno njegovo opterećenje. Uvod se sastoji od općih informacija DC motora, zatim je opisana karakteristika DC motora, pokretanje DC motora, kočenje DC motora i gubici DC motora. Praktični dio rada započinje ispitivanjem praznog hoda istosmjernog motora s paralelnom uzбудom. Iz pokusa praznog hoda nacrtana je bilanca snage, te su dobiveni svi potrebni rezultati za opterećenje DC motora s paralelnom uzбудom. Iz vježbe opterećenja nacrtana je bilanca snage, te su snimljene radne karakteristike: brzina vrtnje, korisna mehanička snaga, korisni moment na osovini motora i korisnost, sve u ovisnosti o struji opterećenja.

Ključne riječi: DC motor, karakteristika, pokretanje, kočenje, gubici, bilanca snage, prazni hod, opterećenje

Summary

This work describes DC motor with parallel excitation load which is tested. The introduction contains general information of DC motor, then describes the DC motor characteristic, starting of DC motor, and DC motor losses. Practical part of the work begins by examining the idling of a DC motor with parallel excitation. The power balance was drawn from the idle test and all the necessary results for the load of the DC motor with parallel excitation were obtained. The power balance was drawn from the load exercise, and the operating characteristics were recorded: rotational speed, useful mechanical power, useful moment on the motor shaft and efficiency, all depending on the load current.

Key words:

DC motor, characteristic, starting, braking, losses, power balance, idling, load

Popis korištenih kratica

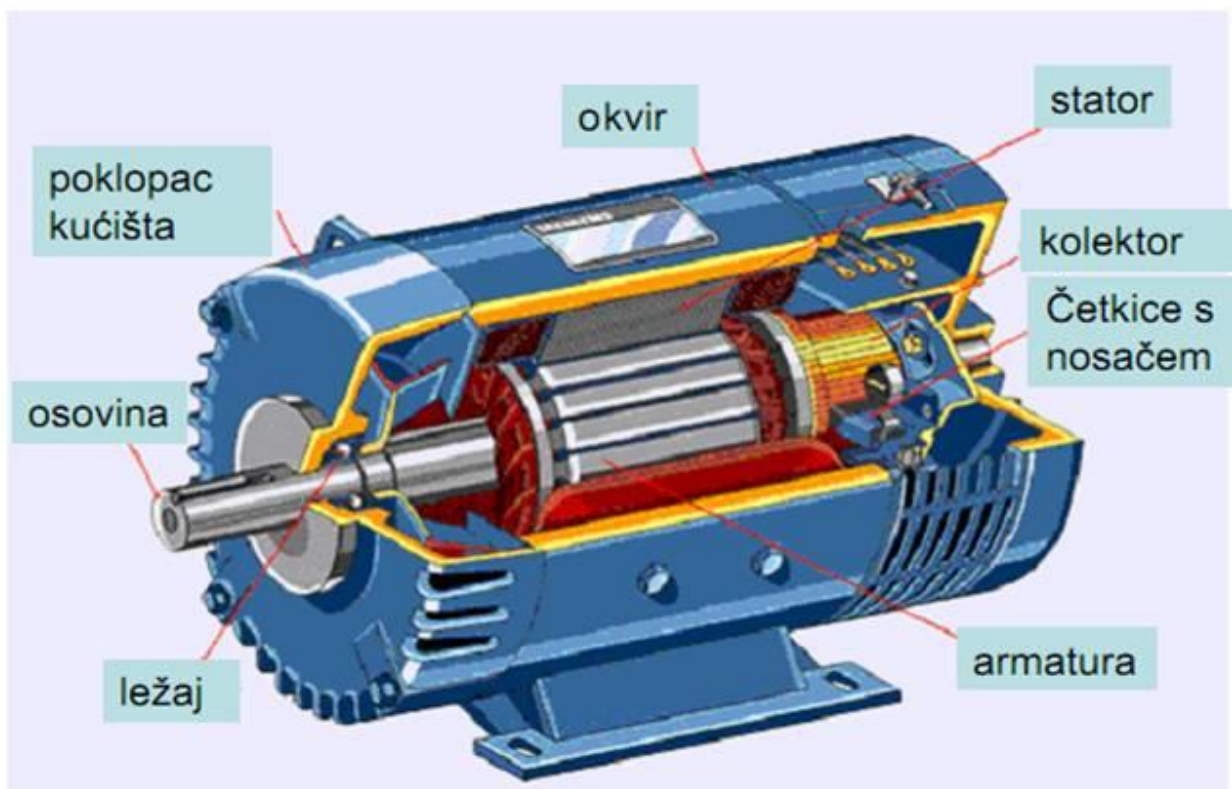
A – amper
B – magnetska indukcija
DC motor – istosmjerni motor
I – struja koju motor uzima iz mreže
I₀ – struja praznog hoda
I_a – struja armature
I_{a0} – struja armature
I_n – nazivna struja
I_u – struja uzbude
k_{TG} – konstanta tahogeneratora
l – duljina vodiča
M – motor
M₂ – moment na osovini motora
n – broj okretaja rotora
Nm – njutnmetar
η – korisnost
o/min – okretaji po minuti
o/V – okretaji po voltu
P₀ – snaga praznog hoda koju motor povuče iz mreže
P₀₁ – uži gubici praznog hoda
P₁ – ukupna snaga iz mreže
P₂ – korisna snaga na osovini motora
P_a – gubici snage u armaturi
P_{a0} – gubici u namotu armature
P_{Cu} – gubici u bakru
P_{Fe} – gubici u željezu armature
P_{tr.v.} – gubici trenja i ventilacije
P_u – gubici snage u namotu uzbude
R – otpornik
R_a – otpor armature
S – sklopka
U₀ – napon praznog hoda
U_a – napon armature
U_{TG} – napon tahogeneratora
W – vat

Sadržaj

1.	Uvod	1
2.	Način rada istosmjernog stroja	3
2.1.	Rad stroja kao motora	4
2.2.	Vrste uzbude	6
3.	Karakteristike istosmjernog motora.....	7
4.	Pokretanje istosmjernog motora.....	8
5.	Kočenje istosmjernog motora.....	10
6.	Gubitci i iskoristivost istosmjernih strojeva.....	14
7.	Prazni hod istosmjernog motora s paralelnom uzbudom.....	16
7.1.	Shema spoja za pokus praznog hoda s popisom opreme	17
7.2.	Opis pokusa praznog hoda.....	18
7.2.1.	Bilanca snage pokusa praznog hoda	20
7.3.	Rezultati pokusa praznog hoda.....	21
7.3.1.	Kvadratična aproksimacija	21
8.	Opterećenje istosmjernog motora s paralelnom uzbudom.....	23
8.1.	Shema spoja opterećenja s popisom opreme	24
8.2.	Opis pokusa opterećenja istosmjernog motora s paralelnom uzbudom	25
8.3.	Rezultati pokusa opterećenja istosmjernog motora s paralelnom uzbudom	27
9.	Analiza rezultata opterećenja istosmjernog motora s paralelnom uzbudom.....	28
10.	Zaključak.....	32
11.	Literatura.....	33

1. Uvod

Istosmjerni motor ili DC motor je elektromehanički uređaj koji istosmjernu struju pretvara u rotacijsko gibanje. Da bi došlo do te pretvorbe istosmjerni motor putem kolektora i četkica ostvaruje električni kontakt rotorskog namota s priključenim napajanjem. Zbog mogućnosti kontinuirane promjene brzine okretaja istosmjerni se motor koristi u industriji te za pogon tračnih i posebnih vrsta vozila kao što su tramvaj, lokomotiva, elektromobil i drugo. Brzina vrtnje se može mijenjati na razne načine. U suvremenim pogonima upravljanje se vrši pomoću računala.



Slika 1.1 Istosmjerni motor s označenim elementima [1]

Istosmjerni motori osim s paralelnom uzбудom izvode se i sa serijskom uzбудom, nezavisnom uzбудom, složenom (kompaundiranom) uzбудom ili s trajnim magnetima.

U ovom radu odabrana je paralelna uzbuđiva. Paralelna uzbuđiva je takva da je uzbuđni namot (puno zavoja tanke žice) spojen paralelno armaturnom namotu (paralelni istosmjerni stroj).

Ovaj rad prikazuje opterećeni istosmjerni motor s paralelnom uzбудom, te njegove karakteristike rada.



Slika 1.2. Slika istosmjernog motora iz laboratorija

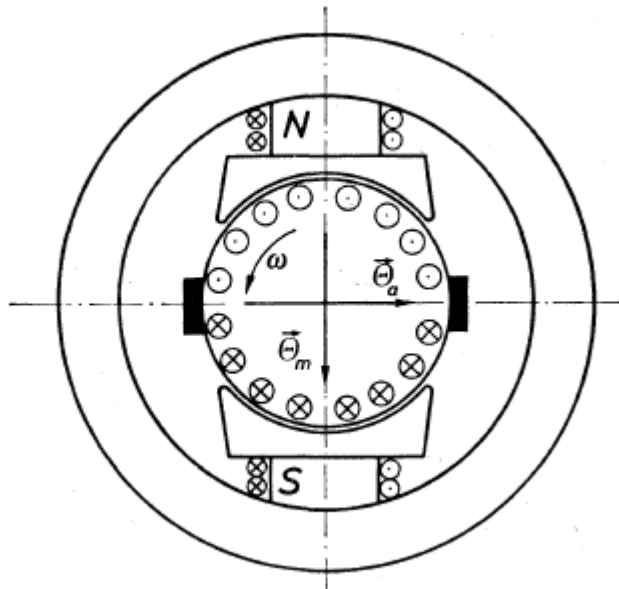
2. Način rada istosmjernog stroja

Istosmjerni stroj najčešće se izvodi s armaturom na rotoru i uzбудom na statoru.

Na istaknutim polovima smještena je uzbuđena koja ispod polova u zračnom rasporu stvara polje indukcije B .

U armaturi se vrti polje indukcije B , dok se u njezinim vodičima induciraju naponi. Naizmjenice svaki vodič prolazi ispod N-pola i S-pola tako se mijenja smjer napona inducirano u vodiču.

Na svakom pojedinom vodiču napon U i struja I su izmjenični. Četkice po kolektoru klizu, a uvijek su u istom položaju u odnosu na polove statora, pojavljuje se napon istog smjera i struja koja teži uvijek istim smjerom. Mehanički ispravljač kolektora koji se rotira i četkice koje miruju zapravo pretvara izmjenične napona i struju armature u istosmjerne napone i struje u vanjskim dovodima.

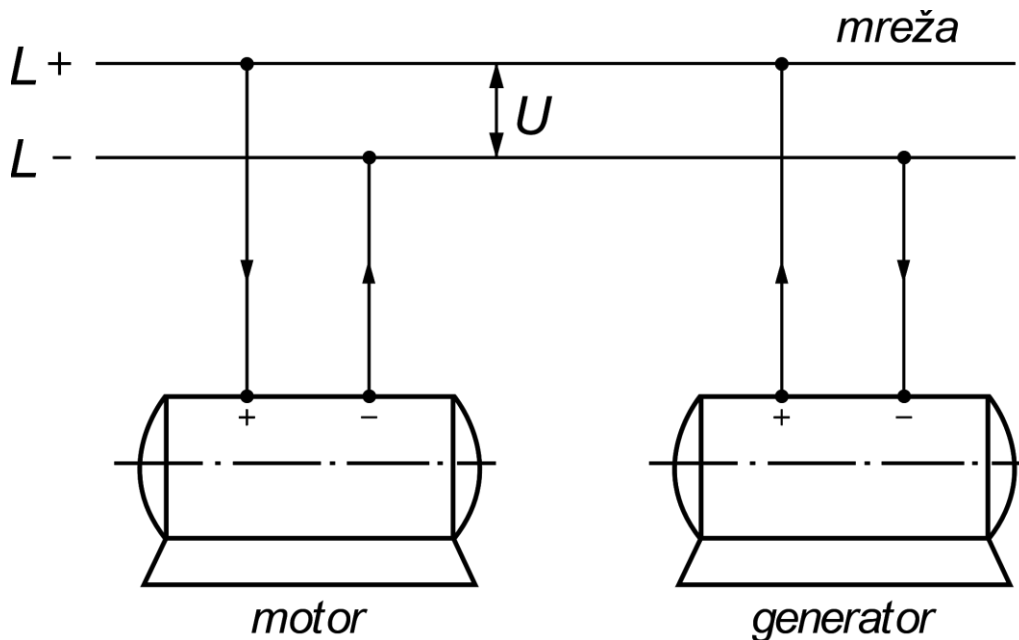


Slika 2.1. Shematski prikaz istosmjernog stroja [2]

2.1. Rad stroja kao motora

Na slici prikazana je osnovna shema kretanja istosmjerne električne struje od generatora prema motoru i nazad u generator.

Kada se motor priključi na istosmjernu mrežu u armaturnom namotu se preko četkica i kolektora osjeti protjecanje struje. Na “+“ četkici struja ulazi u namot armature, a na “-“ četkici struja izlazi iz namota i vraća se nazad u mrežu. Struja koja ulazi preko četkica i lamela kolektora u namot armature, pretvara se od istosmjerne struje na četkicama pa do izmjenične u namotu armature.



Slika 2.2. Shematski prikaz kretanja struje kod priključka generatora i motora na mrežu[3]

Magnetski tok vodiče kroz koje protječe struja ulančuje pa će na vodiče djelovati mehanička sila koja ih nastoji izbaciti iz magnetskog polja. Vodiči su čvrsto vezani za masu rotora, pa će nekom silom F djelovati na rotor da se zakrene. Tako počinje vrtnja rotora, što je jedan od uvjeta da bi stroj radio kao motor.

Smjer djelovanja sile F na vodič određuje se pravilom lijeve ruke, a izraz glasi:

$$F = B * I * l [N].$$

Sila F je veća kad je magnetska indukcija B veća, kad je struja I veća.

Duljina vodiča l se ne mijenja za određenu veličinu stroja.

2.2. Vrste uzbude

U elektrotehnici uzbuda označuje skraćeni naziv za manje ili više složenih sustava koji osiguravaju tok istosmjerne struje kroz uzbudne namote električnih strojeva. Stvara se magnetsko polje neizbježno za pretvorbu elektromehaničke energije u električnim motorima i generatorima. Magnetski tog u električnim strojevima stvara elektromagnetnu silu i inducira napon.. Upravo zbog uzbudne struje (elektromagnet) nastaje magnetski tok ili se koristi trajni magneti. Uzbudni sustavi razlikuju se, ovisno o veličini i vrsti električnog stroja.

Uzbudni sustavi:

- 1) Paralelna uzbuda (Poredna uzbuda) – kada je na vlastite stezaljke ili mrežu priključen uzbudni namot, uzbudna struja podešava se pomoću vanjskog promjenjivog otpornika.
- 2) Serijska uzbuda – u seriju s armaturnim namotom priključen je uzbudni. Podešavanje uzbudne struje može se samo zajednički pomoću predotpora izvan stroja ili paralelno uzbudnim namotom koji je priključen s otpornikom.
- 3) Nezavisna uzbuda – na vanjski izvor napona priključen je uzbudni namot, uzbudni namot potpuno neovisan o zbivanjima u stroju. Ako u strujnom krugu uzbude postoji promjenjiv otpornik ili je spojen na izvor promjenjivog napona iznos uzbudne struje može se podešavati neovisno o stroju.
- 4) Kompaundna (složena uzbuda) – na stroj zajednički djeluju dva uzbudna namota. Kombinacija serijske i nezavisne uzbude ili paralelne i serijske uzbude. Svaka pojedina uzbuda nam je uvjet koji zahtjeva vanjska karakteristika. tj. za generator zahtjeva ovisnost napona stezaljki o struji tereta, odnosno za motor brzina vrtnje o razvijenom momentu.

3. Karakteristike istosmjernog motora

Osnovne karakteristike istosmjernih motora su:

- ovisnost momenta o struji opterećenja i brzine vrtnje, tj. $M = f(I)$ te $n = f(I)$.
- ovisnost brzine vrtnje o momentu, tj. $n = f(M)$. Takvu karakteristiku nazivamo mehanička ili vanjska karakteristika istosmjernog motora.

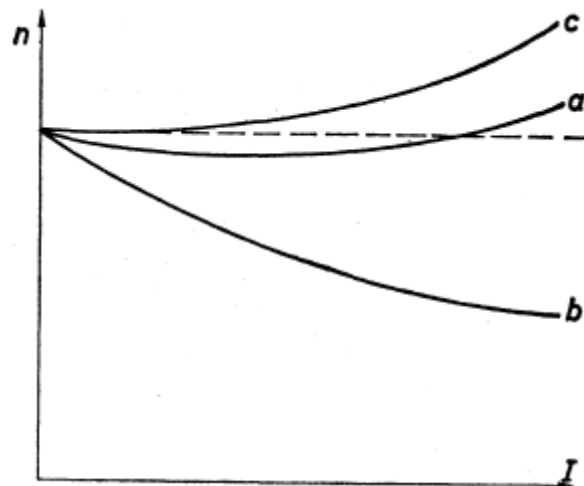
Izraz za brzinu vrtnje:

$$n = \frac{U - I * R_a}{k_e * \Phi}$$

U početku pri manjim opterećenjima karakteristika brzine vrtnje paralelnog istosmjernog motora pokazuje pad brzine vrtnje.

Inducirani napon se smanjuje s porastom struje opterećenja (nalazi se u brojniku izraza za brzinu vrtnje). Kod većih struja znatno se smanjuje tok Φ (reakcija armature). Smanjenje toka premašuje smanjenje induciranog napona, a brzina vrtnje počinje pri daljnjem povećanju opterećenja ponovno rasti.

Nestabilno ponašanje se javlja kod povećanja opterećenja i brzine vrtnje.



Slika 3.1. Karakteristika brzine vrtnje istosmjernog motora a) s paralelnom uzбудom, b) s kompaundacijom, c) s protukompaundacijom [2]

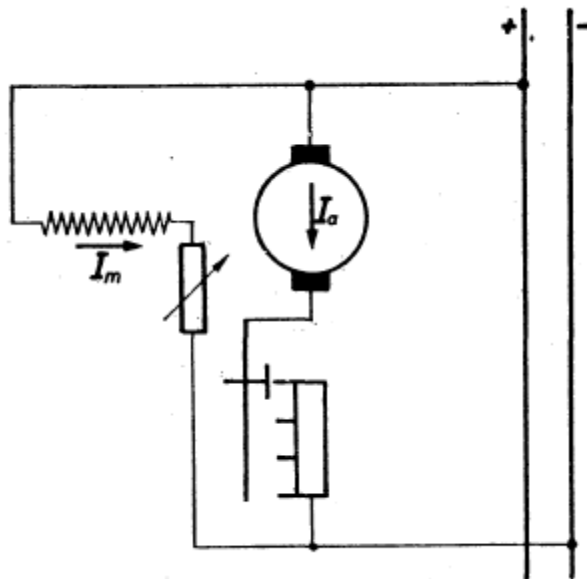
4. Pokretanje istosmjernog motora

Istosmjerni motor se priključuje na mrežu napona U dok još miruje i nema induciranog napona koji bi držao ravnotežu mrežnom naponu.

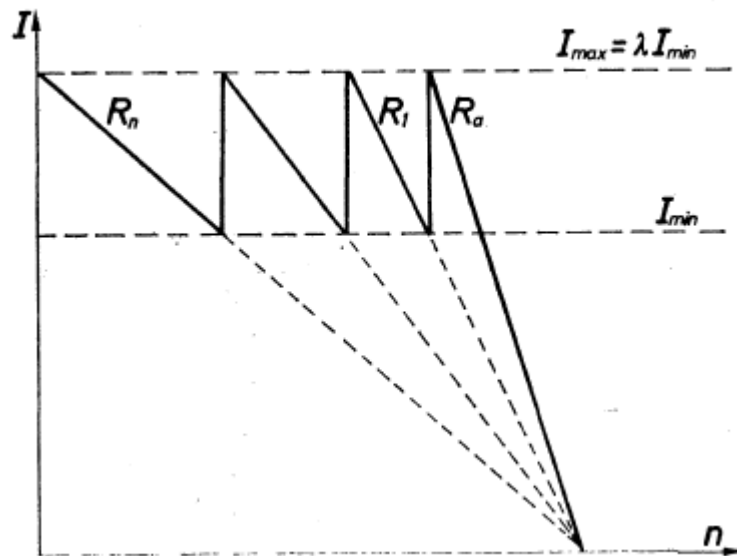
U prvom trenutku cijeli bi napon U djelovao na vrlo mali otpor armature R_a , što bi izazvalo vrlo velik udarac struje.

Ta bi struja štetno djelovala na motor, ponajprije na četkice i kolektor, a i na cijelo postrojenje, pa je treba ograničiti na vrijednost koja neće ugroziti stroj.

Radi toga se u seriju s armaturom dodaje pokretač, odnosno otpornik s nekoliko stupnjeva koji se mogu jedan po jedan isključivati.



Slika 4.1. Shema spoja pokretanja istosmjernog motora[2]



Slika 4.2. Struja u ovisnosti o brzini vrtnje[2]

Radi postizanja većeg momenta zaleta motora, motor pokrećemo uz maksimalnu uzbudu. Smanjenjem same uzbude kad je pokretač već premošten, brzina vrtnje se povećava do punog iznosa.

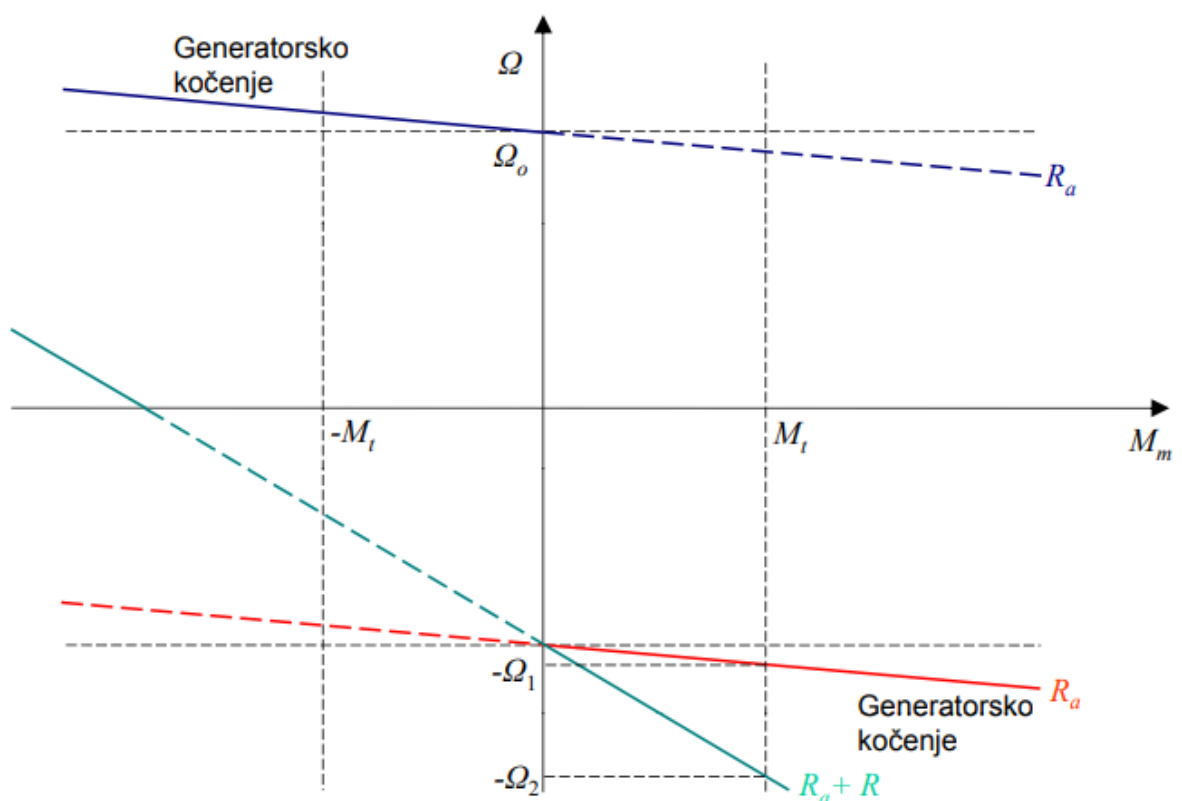
5. Kočenje istosmjernog motora

Kada se istosmjerni motor želi zaustaviti, prvo mu se mora prekinut dovod pogonske energije. Zatim se podešavajućim otpornikom u uzбудnom strujnom krugu polako smanjuje uzбудna struja. Razbuđivanje se mora vršit polagano zbog mogućnosti pojave velikog napona samoindukcije. Ako bi se uzbudni krug naglo prekinuo u trenutku kada je još magnetski tok velik, u uzbudnom namotu moglo bi doći do vrlo velikog inducirano napona koji može probit izolaciju namota i tako ga uništiti.

a) Generatorsko kočenje (rekuperativno kočenje, povrat energije u mrežu)

Generatorsko kočenje najviše se primjenjuje kod dizalica te u električkom transportu (vuča dizala i slično) kada je moment tereta potencijalan (aktivan), a brzina kočenja mora biti veća od brzine praznog hoda.

Pri generatorskom kočenju brzina vrtnje se povećava od Ω_1 do Ω_2 dodavanjem otpora R u armaturni krug stroja.



Slika 5.1. Karakteristika generatorskog kočenja [4]

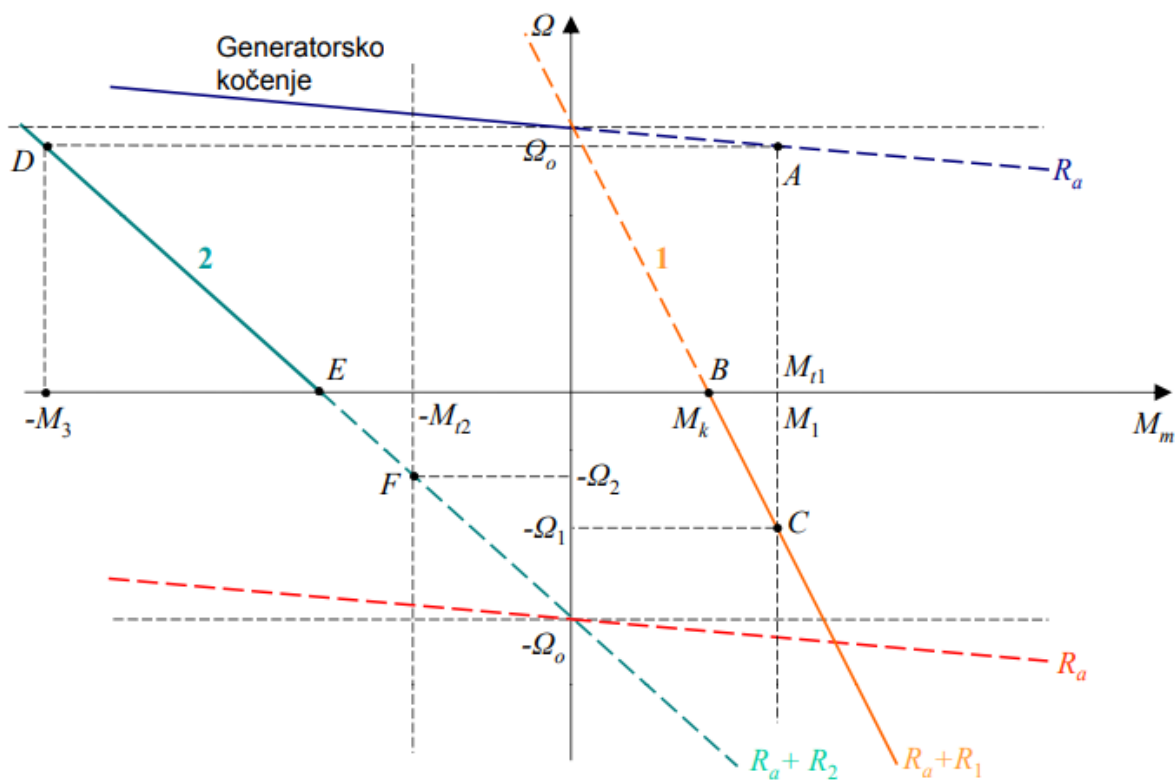
b) Protustrujno kočenje

Kada se motor pod djelovanjem momenta tereta ili inercije vrti u jednom smjeru nastaje režim protustrujnog kočenja. Kod prijelaza iz motorskog kočenja u protustrujno kočenje mijenjat će se smjer brzine vrtnje motora, ali uz nepromijenjen smjer djelovanja momenta motora. Druga varijanta je da se smjer djelovanja momenta mijenja uz isti smjer brzine vrtnje kao u motorskom režimu rada.

U takvom slučaju nastaje odnosno djeluje aktivni moment tereta koji je veći od momenta kratkog spoja, te glasi:

$$M_{t1} = M_1 > M_{ks}$$

Pri tome se u armaturni krug motora dodaje otpor R_1 .



Slika 5.2. Karakteristika protustrujnog kočenja [4]

Zbog promjene brzine vrtnje odnosno smjera brzine vrtnje mijenja se i smjer protuelektromotorne sile pa izraz za armaturnu struju glasi:

$$\mathbf{I_{a1}} = \frac{\mathbf{U_a + E}}{\mathbf{R_a + R1}}$$

Izborom otpora R1 kao dodatnog, brzina vrtnje određena je u stacionarnom stanju Ω_1 .

Motor će biti zaustavljen kada će moment tereta postati reaktivan (točka B).

Motor će se okretati u suprotnu stranu sve do brzine vrtnje kada će moment tereta biti aktivan, $-\Omega_1$ (točka C na slici).

Promijenit će se smjer brzine vrtnje, nepromijenjena je struja armature i smjer momenta motora.

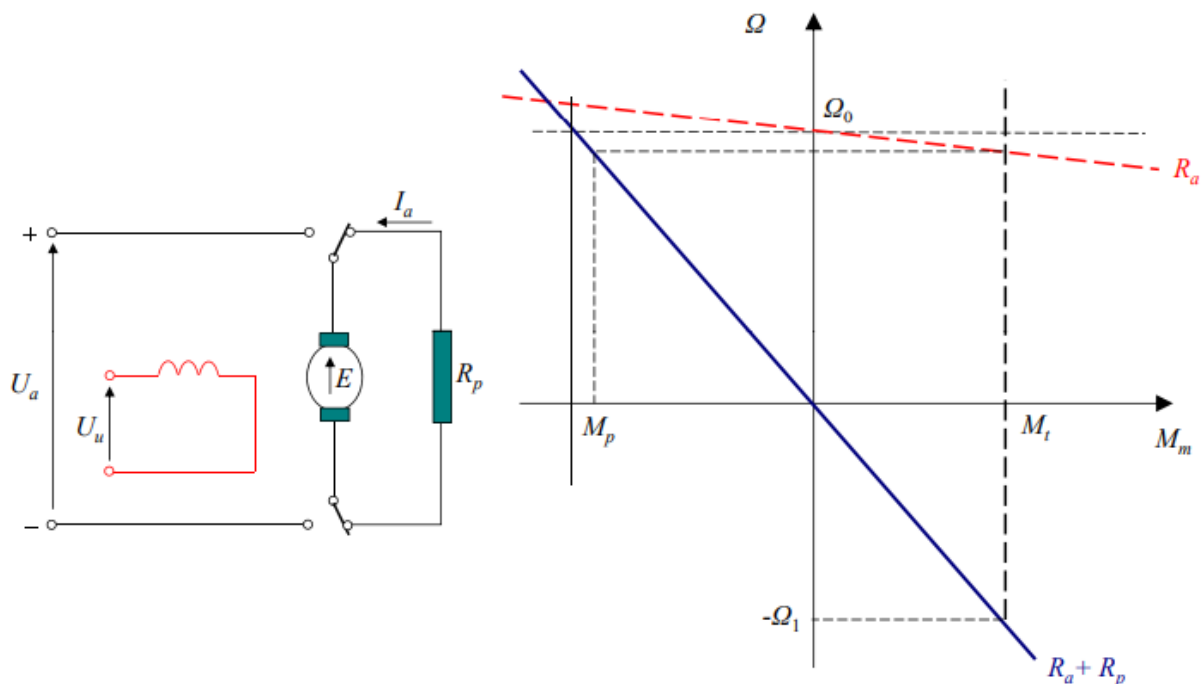
Zbog takvog načina protustrujno kočenje istosmjernog motora koristi se kod dizalica za spuštanje tereta.

c) **Elektrodinamičko kočenje (kočenje na otpore)**

Kada bi se pri nekoj brzini armatura motora odspojila od napona napajanja i spojila na otpornik R_p , a uzbuda ostala nepromijenjena tada bi nastalo elektrodinamičko kočenje. Motor se zbog inercije nastavlja vrtjeti u istom smjeru, pa se kao posljedica inducirane elektromotorne sile u armaturnom namotu javlja struja:

$$I_{ap} = - \frac{E}{R_a + R_p}, U_a = 0$$

U elektrodinamičkom kočenju smjer struje je suprotan smjeru struje u motorskom režimu rada, a brzina vrtnje je suprotna od smjera djelovanja momenta motora.



Slika 5.3. Karakteristika elektrodinamičkog kočenja[4]

Sa smanjenjem brzine vrtnje smanjuje se moment motora.

Pri nižim brzinama otpor dodan u armaturni krug potrebno je smanjit kako bi se povećao moment tereta.

Pri reaktivnom momentu tereta, motor će se zaustaviti. Kod aktivnog momenta tereta nakon zaustavljanja motor će se vrtjeti u suprotnom smjeru sve do brzine vrtnje $-\Omega_1$.

6. Gubici i iskoristivost istosmjernih strojeva

Kod istosmjernih strojeva, kao i kod ostalih rotacijskih strojeva dolazi do gubitaka.

Gubici smanjuju iskoristivost stroja. Kada bi postigli iskoristivost motora do 100% takav motor bi nazvali idealan stroj.

U stroju postoje gubici koji se mogu podijeliti na tri osnovne vrste:

- a) Mehanički gubici ili gubici trenja P_{tr}
- b) Električki gubici ili gubici u bakru P_{Cu}
- c) Magnetski gubici ili gubici u željezu P_{Fe}

a) Mehanički gubici nastaju zbog trenja na osovini, trenja četkica na kolektoru, otpora zraka i eventualnog titranja stroja. U praksi kod svih opterećenja mehanički gubici su stalni.

b) Električki gubici se sastoje se od gubitaka u armaturnom strujnom krugu P_{CuA} i gubitaka u uzbudnom strujnom krugu P_{CuM} .

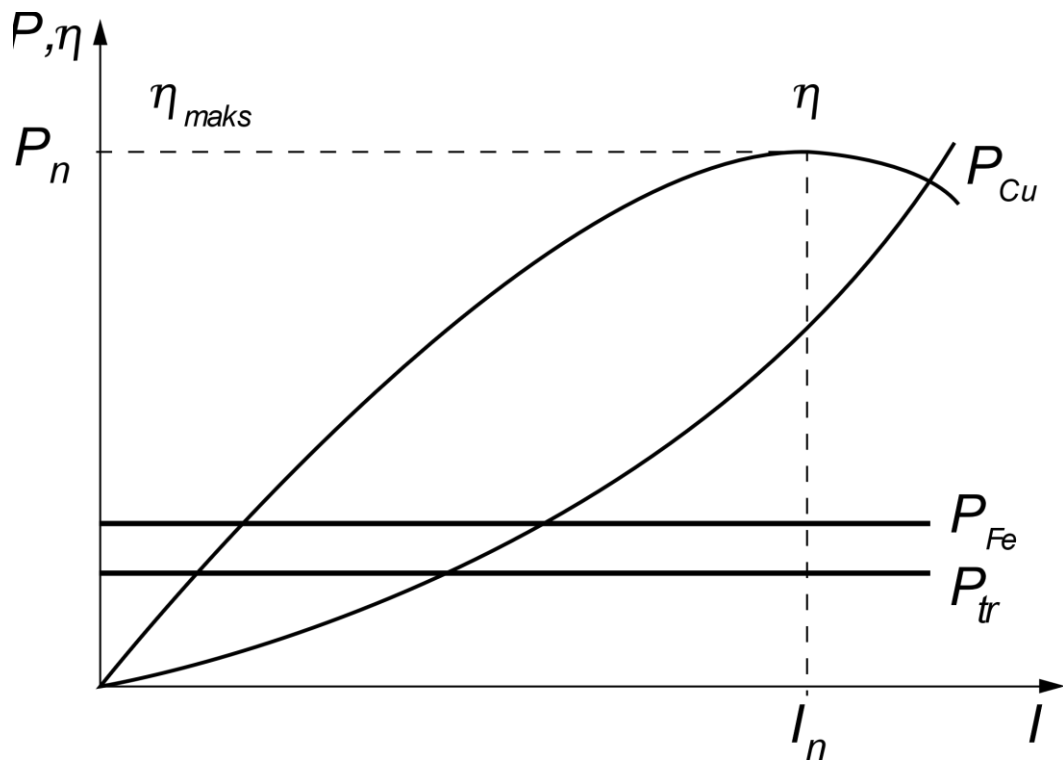
O veličini opterećenja ovise gubici u armaturnom strujnom krugu. To znači da gubici ovise o pogonskoj struji I_a i otporu armaturnog kruga R_a . Mijenja se s kvadratom promjene struje. $P_{CuA} = I_a^2 * R_a$

Gubici u uzbudnom strujnom krugu ovise o otporu strujnog kruga i veličini uzbudne struje. $P_{CuM} = I_M^2 * R_M$

Ukupni gubici u bakru iznose:

$$P_{Cu} = P_{CuA} + P_{CuM} = I_a^2 * R_a + I_M^2 * R_M$$

c) Gubici u željezu P_{Fe} nastaju od vrtložnih struja i histereze. Javljaju se samo u armaturi i polnim nastavcima (u motoru su samo ti dijelovi podvrgnuti izmjeničnom toku). Gubici u željezu ne ovise o veličini opterećenja, pa se kod DC strojeva mogu smatrat stalnim.



Slika 6.1. Karakteristike gubitaka i iskoristivost ovisno o opterećenju[3]

Iz karakteristike je vidljivo da su gubici trenja P_{tr} i gubici u željezu P_{Fe} stalni, te se ne mijenjaju s promjenom opterećenja (prikazani su sa dva pravca paralelna s osi x).

Gubici u bakru P_{Cu} mijenjaju se s kvadratom promjene opterećenja.

Iskoristivost η ima maksimalnu vrijednost u blizini nazivnog opterećenja. Ona uvijek iznosi manje od 1, a izražava se kao odnos između korisno predane snage i primljene snage.

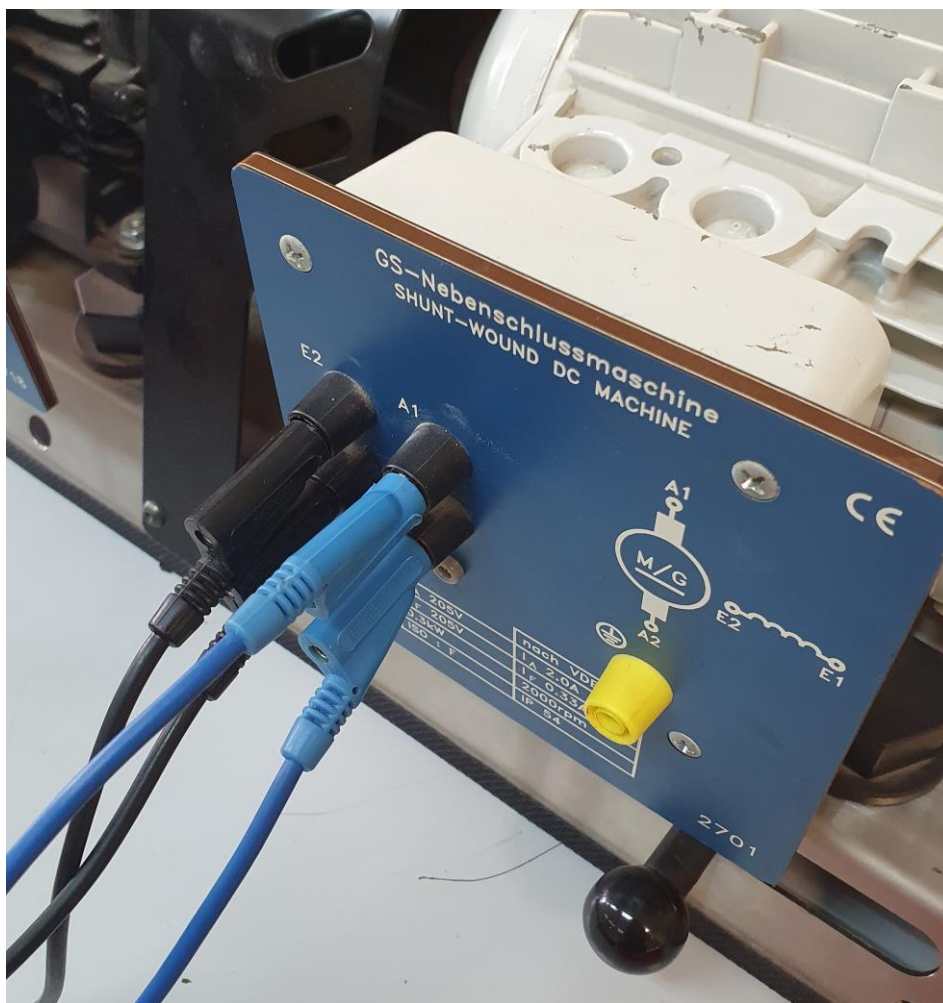
Kad stroj radi kao motor priključen na mrežu napona U iz koje uzima struju I , izraz za

$$\text{iskoristivost glasi: } \eta = \frac{P - P_g}{P} = 1 - \frac{P_g}{P}$$

7. Prazni hod istosmjernog motora s paralelnom uzbudom

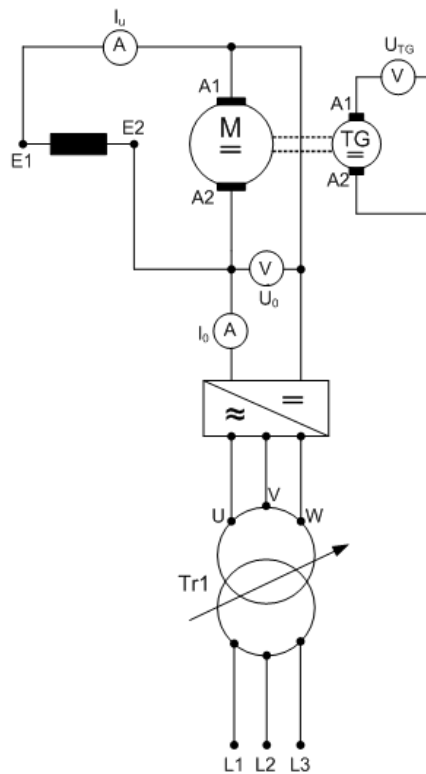
Istosmjerni motor priključen na mrežu i bez mehaničkog opterećenja na osovini radi u praznom hodu.

Osnovni cilj pokusa praznog hoda je određivanja gubitaka trenja i ventilacije, te gubitaka u željezu rotora (armature). Oni su konstantne vrijednosti i kao takvi su potrebni u kompletnoj bilanci snage opterećenog motora.



Slika 7.1. Paralelno spajanje vodova istosmjernog motora

7.1. Shema spoja za pokus praznog hoda s popisom opreme



Slika 7.2. Shema spoja pokusa praznog hoda

Oprema:

- univerzalni izvor tip 2740.1 hps – 1 kom
- istosmjerni paralelni motor tip 2701 hps – 1 kom
- istosmjerna kočiona jedinica tip 2718 – 1 kom
- univerzalni instrumenti – 3 kom
- spojni vodovi – prema potrebi



Slika 7.3. Oprema pokusa praznog hoda

7.2. Opis pokusa praznog hoda

Pokus je započet mjerenjem otpora armaturnog i uzbudnog namota (R_a i R_u). To se jednostavno napravi univerzalnim instrumentom na omskom području.

Nakon toga motor se spoji prema priloženoj shemi i pomoću regulacijskog transformatora diže se napon do prve mjerne točke, a to je bio napon kod kojeg je motor krenuo.

Mjereni je napon U_0 , struja I_0 , struja uzbuđe I_u i napon tahogeneratorski U_{TG} , a izračunato je:

- struja armature kao: $I_{a0} = I_0 - I_u$ (A),
- snaga praznog hoda koju motor povuče iz mreže kao: $P_0 = U_0 * I_0$ (W),
- gubitke u namotu uzbuđe kao: $P_u = I_u^2 * R_u$ (W),
- gubitke u namotu armature kao: $P_{a0} = I_{a0}^2 * R_a$ (W),
- uže gubitke praznog hoda kao: $P_{01} = P_0 - P_u - P_{a0} = P_{Fe} + P_{tr.v.}$ (W),
- broj okretaja rotora kao: $n = k_{TG} * U_{TG}$ (o/min); konstanta tahogeneratorski je:

$k_{TG} = 300(o/V)$, a određena je na osnovu nazivnog broja okretaja motora.

Mjerenja su izvršena u četiri točke, do nazivnog napona.

Praksa je pokazala da su gubici trenja i ventilacije konstantni kod bilo kojeg napona, a kod nazivnog napona su gubici u željezu rotora (armature) također konstantni, jer nazivni napon nastupa tik pred zasićenjem, pa se magnetska indukcija više ne mijenja, kao niti frekvencija, a oni su funkcija frekvencije i kvadrata magnetske indukcije: $P_{Fe} = g(f;B^2)$. U armaturnom namotu se inducira izmjenični napon, a kolektor služi kao mehanički ispravljač.

Podatak, **$P_{01} = P_{Fe} + P_{tr.v.} = 69,21985 \text{ (W)}$ kod U_n služi kao ulazni za pokus opterećenja (kod opterećenja je napon konstantna vrijednost).**

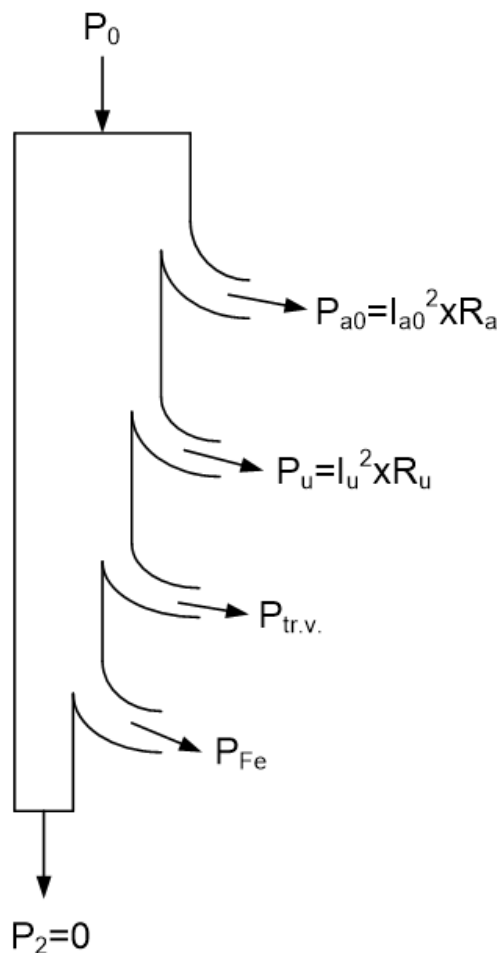
Na kraju je na osnovu funkcije $P_{01} = f(U_0)$, kvadratičnom aproksimacijom dobiveni je iznos $P_{tr.v.}$ kao konstantna vrijednost (objašnjeno u rezultatima), a nakon toga i P_{Fe} kao: $P_{Fe} = P_{01} - P_{tr.v.}$



Slika 7.4. Spojeni elementi prema shemi pokusa praznog hoda

7.2.1. Bilanca snage pokusa praznog hoda

Rezultati su obrađeni prema shemi bilance snage (energetskog dijagrama toka snage) u praznom hodu:



Slika 7.5. Shema bilance snage praznog hoda istosmjernog motora s paralelnom uzbuđom

7.3. Rezultati pokusa praznog hoda

U0	Uu	I0	Iu	Ia0	P0	Pu	Pa0	P01	Ptr.v.	Pfe	Ra	Ru	Utg	ktg	n
V	V	A	A	A	W	W	W	W	W	W	Ω	Ω	V	o/V	o/min
55	55	0,42	0,115063	0,304937	23,1	6,328452	2,082903	14,68865	9,72	4,968646	22,4	478	4,7	150	705
100	100	0,51	0,209205	0,300795	51	20,9205	2,026699	28,0528	9,72	18,3328	22,4	478	7,3	150	1095
150	150	0,63	0,313808	0,316192	94,5	47,07113	2,2395	45,18937	9,72	35,46937	22,4	478	5	300	1500
205	205	0,78	0,42887	0,35113	159,9	87,91841	2,761742	69,21985	9,72	59,49985	22,4	478	6,54	300	1962

Tablica 7.1. Rezultati praznog hoda istosmjernog motora s paralelnom uzbudom

7.3.1. Kvadratična aproksimacija

Za izračun parametra jednadžbe mogu se koristiti druga, treća i četvrta točka, odnosno rezultati užih gubitaka praznog hoda (Tablica 7.1.).

Opća formula za parabolu je:

$$y = ax^2 + bx + c$$

U toj formuli Y je P₀₁, a X je U₀.

Iz opće formule za parabolu se traže koeficijenti a, b i c. Pri tome je bitan koeficijent c koji predstavlja odsječak parabole na osi Y (P₀₁), a to su stalni gubici trenja i ventilacije.

$$28,05 = a * 100^2 + b * 100 + c$$

$$45,2 = a * 150^2 + b * 150 + c$$

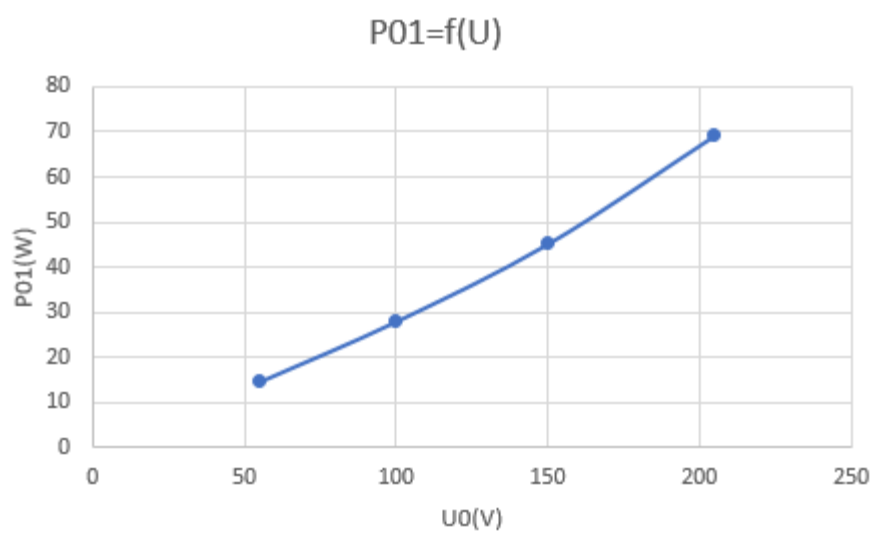
$$69,2 = a * 205^2 + b * 205 + c$$

Sustav tri jednadžbe s tri nepoznanice se može jednostavno riješiti pomoću kalkulatora.

Koeficijent c je 9,72, odnosno stalni gubici trenja i ventilacije (P_{tr.v.}) iznose 9,72W, taj iznos je konstantan kod bilo kojeg napona.

U0	P01
V	W
55	14,69
100	28,05
150	45,2
205	69,2

Tablica 7.2. Prikaz rezultata mjerenja napona i snage

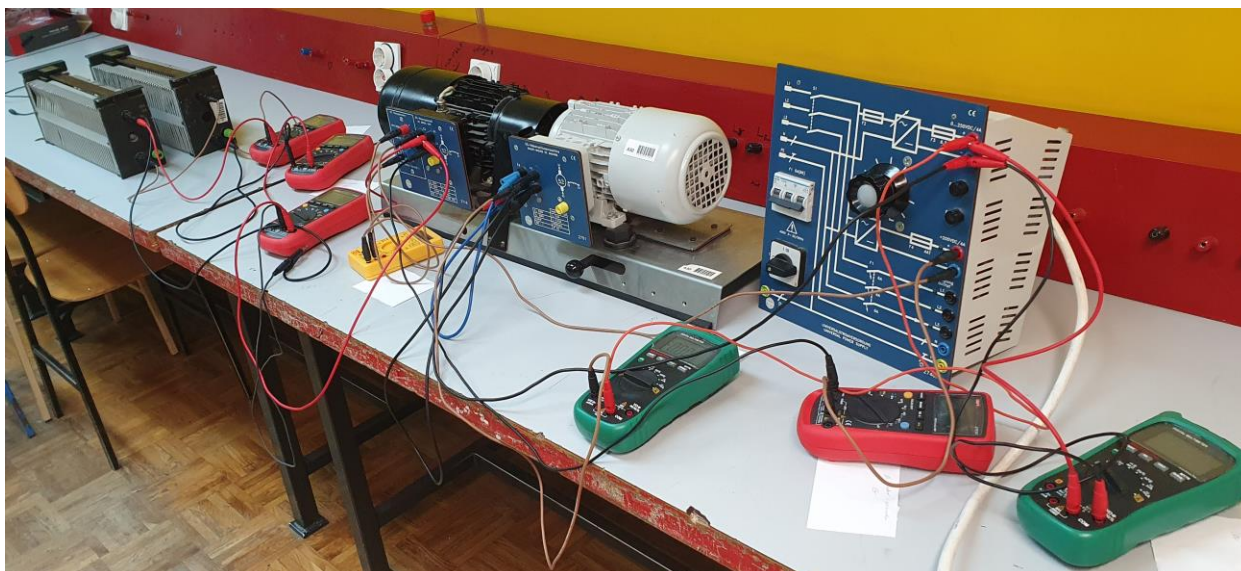


Slika 7.6. Grafički prikaz užih gubitaka u odnosu na napon praznog hoda

8. Opterećenje istosmjernog motora s paralelnom uzбудom

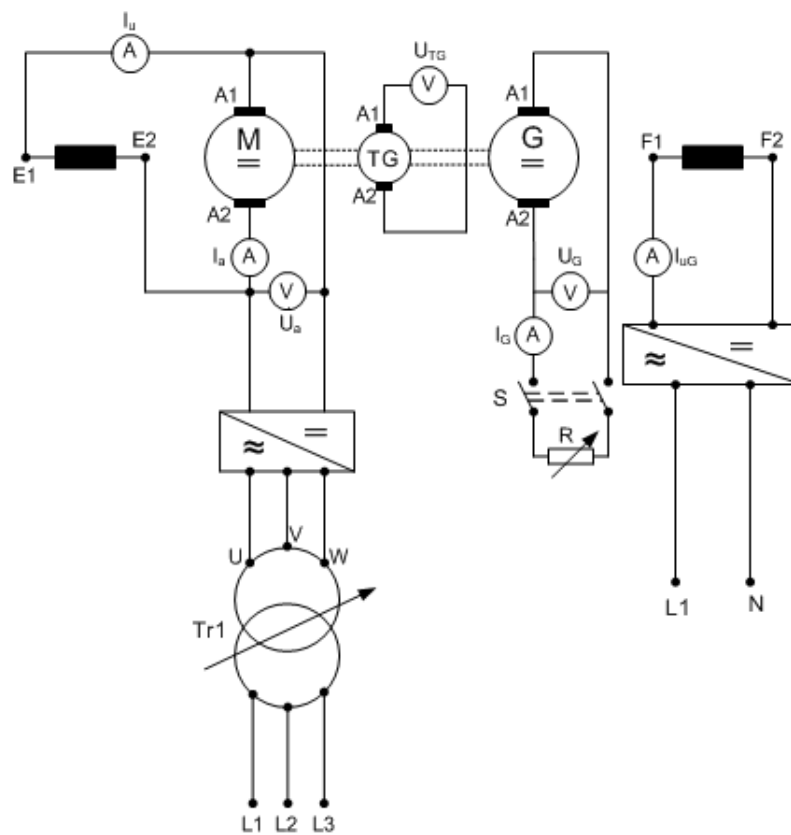
Istosmjerni motor je opterećen ako je priključen na nazivni napon, a na osovini motora je priključeno opterećenje, pri čemu struja nije veća od dopuštenog preopterećenja (obično $1,1I_n$). Uzbudna struja je također konstantna.

Kao kočnica u ovom pokusu služi istosmjerni generator s nezavisnom uzбудom kojeg se može teretiti otpornicima R.



Slika 8.1 Spojeni elementi prema shemi opterećenja istosmjernog motora s paralelnom uzбудom

8.1. Shema spoja opterećenja s popisom opreme



Slika 8.2. Shema spoja pokusa opterećenja

Oprema:

- univerzalni izvor tip 2740.1 hps – 1 kom
- istosmjerni paralelni motor tip 2701 hps – 1 kom
- istosmjerna kočiona jedinica tip 2718 – 1 kom
- univerzalni instrumenti – 7 kom
- regulacioni otpornik 100Ω , 2A – 2kom
- spojni vodovi – prema potrebi

8.2. Opis pokusa opterećenja istosmjernog motora s paralelnom uzbudom

Pokus opterećenja izvršen je na zagrijanom motoru, tako da je najprije namještena nazivna struja, a zatim se kreće prema praznom hodu motora.

Rezultati opterećenja kod nazivnog napona uzeti su iz prethodnog pokusa. Nakon završenog pokusa izmjeren je otpor namota armature.

Motor je spojen prema priloženoj shemi. Uzbudni namot istosmjernog generatora spojen je na stalan izvor istosmjernog napona na univerzalnom izvoru.

Regulacionim transformatorom Tr_1 namješten je na motoru nazivni napon, U_n , a sve u praznom hodu (sklopka S je otklopljena – teret nije priključen).

Na taj način je automatski i struja uzbuđe postavljena na nazivnu vrijednost, a motor se vrti nazivnom brzinom.

Sklopkom S potrebno je uključiti maksimalni otpor u krug armature generatora i klizačem na regulacionom otporniku R nastavljena su željena opterećenja na motoru M (armaturnu struju I_a). Mjerenje je izvršeno u četiri točke, od nazivne struje do praznog hoda. Nakon zadnjeg mjerenja polako treba razbuditi istosmjerni motor spuštajući armaturni napon U_a na nulu.

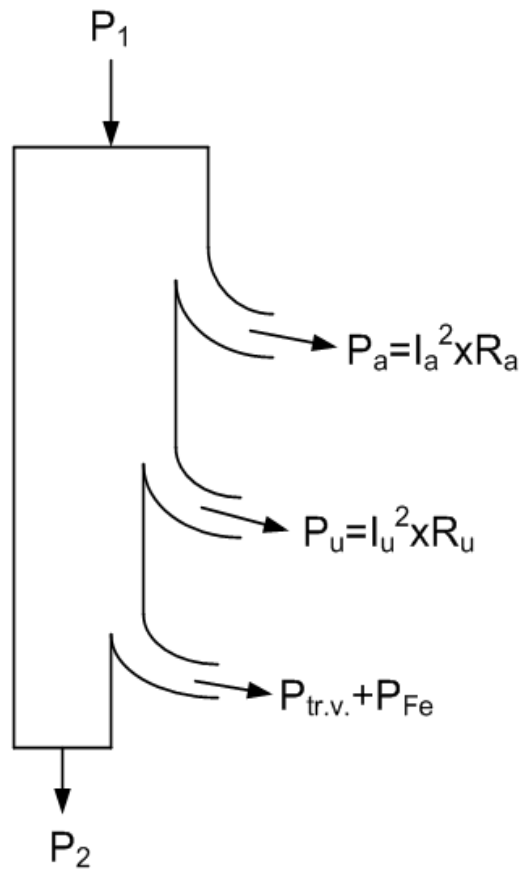
Za svaku namještenu vrijednost armaturne struje opterećenja motora, kontrolira se armaturni napon, U_a (koji se ne mijenja, jer je mreža kruta) i brzinu vrtnje motora, odnosno napon tahogeneratora, U_{TG} i vrijednosti su upisani u tablicu.

Za pojedina mjerenja se računa:

- struja koju motor uzima iz mreže: $I = I_a + I_u$ (A),
- broj okretaja motora: $n = k_{TG} * U_{TG}$ (o/min),
- snaga koju motor uzima iz mreže: $P_1 = U_a * I$ (W),
- gubici snage u armature: $P_a = I_a^2 * R_a$ (W),
- gubici snage u uzbuđi, P_u , preneseno iz praznog hoda,
- gubici trenja i ventilacije i gubitke u željezu armature, $P_{tr.v.} + P_{Fe}$, također preneseno iz praznog hoda,
- korisna snaga na osovini motora, $P_2 = P_1 - P_a - P_u - P_{tr.v} - P_{Fe}$,
- korisnost, $\eta = \frac{P_2}{P_1}$,
- moment na osovini motora, $M_2 = \frac{P_2}{\omega}$ (Nm).

8.2.1 Bilanca snage pokusa opterećenja

Pretvaranje dovedene električne energije u mehaničku najlakše može se grafički prikazati bilancom snage:



Slika 8.3 Shema bilance snage opterećenja istosmjernog motora s paralelnom uzbudom

8.3. Rezultati pokusa opterećenja istosmjernog motora s paralelnom uzbudom

la	Ua	Iu	I	ktg	Utg	n	Ra	Ru	P1	Ptr.v+Pfe	Pa	Pu	P2	η	M2
A	V	A	A	o/V	o/min	o/min	Ω	Ω	W	W	W	W	W		Nm
1,47113	205	0,42887	1,9	300	6,24	1872	22,4	478	389,5	69,22	48,47859	87,91841	183,883	0,4721	0,938485
1,37113	205	0,42887	1,8	300	6,33	1899	22,4	478	369	69,22	42,11193	87,91841	169,7497	0,460026	0,854035
1,32113	205	0,42887	1,75	300	6,37	1911	22,4	478	358,75	69,22	39,09659	87,91841	162,515	0,453003	0,812502
1,25113	205	0,42887	1,68	300	6,43	1929	22,4	478	344,4	69,22	35,06329	87,91841	152,1983	0,441923	0,753823

Tablica 8.1 Rezultati opterećenja istosmjernog motora s paralelnom uzbudom

U nastavku je tablični prikaz rezultata opterećenja istosmjernog motora s paralelnom uzbudom. Rezultati su izračunati kalkulatorom prema ranije navedenim formulama.

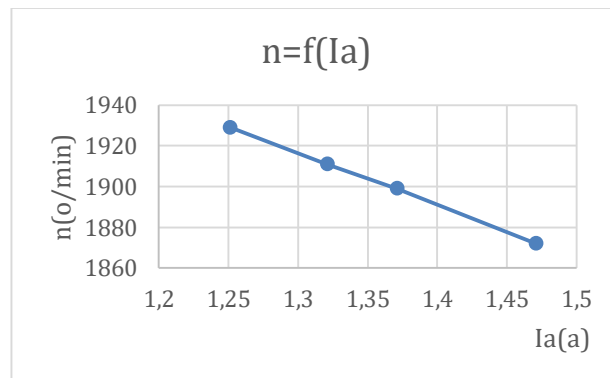
9. Analiza rezultata opterećenja istosmjernog motora s paralelnom zbudom

Obzirom da su armaturni napon i uzbudna struja konstantni, pod tim uvjetima na brzinu motora utječu dva faktora:

- pad napona na armaturi i
- reakcija armature rotora

S povećanjem opterećenja, a time i armaturne struje, prvi uzrok želi smanjiti brzinu vrtnje, dok je drugi uzrok želi povećati, jer u normalnim uvjetima reakcija armature djeluje razmagnetizirajuće. Ovisno o tome koji od tih uzroka prevladava, brzina motora se smanjuje ili povećava.

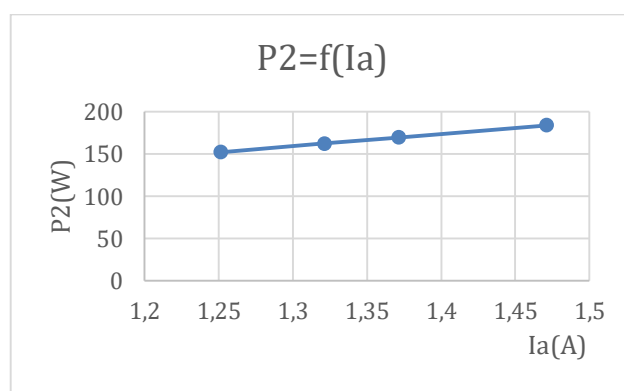
$$n = \frac{U - I_a \cdot R_a}{k_e \cdot \Phi} \left(\frac{o}{min} \right).$$



Slika 9.1. Grafički prikaz broja okretaja motora

Mjerenja su zbog tehničkih ograničenja vršena do struje 1,47A, iako nazivna struja motora iznosi 2A.

Krivulja momenta se blago otklanja prema gore kao i krivulja korisnosti. Prema tome se može zaključiti da bi kod nazivne struje korisnost bila veća.



Slika 9.2 Grafički prikaz korisne snage na osovini motora

U normalnim uvjetima brzina vrtnje se neznatno smanjuje pri povećanju opterećenja.

Kada postoji karakteristika ovisnosti brzine vrtnje o armaturnoj struji, onda se može objasniti i karakteristika korisnog momenta u odnosu na armaturnu struju:

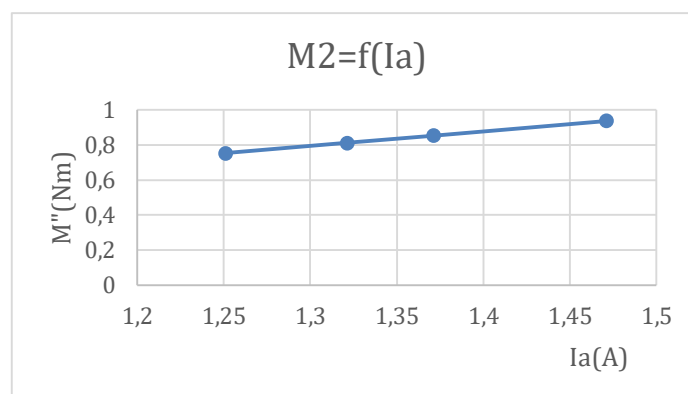
- kada bi brzina vrtnje bila konstantna, onda bi prema jednadžbi:

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega} = \frac{60 \cdot P_2}{2\pi \cdot n} (Nm),$$

korisni moment bio direktno proporcionalan korisnoj mehaničkoj snazi.

Grafički bi takva ovisnost bila prikazana pravcem koji polazi iz ishodišta koordinatnog sustava.

U stvarnosti brzina vrtnje s povećanjem opterećenja pada, pa se prema tome krivulja ovisnosti korisnog momenta o struji opterećenja otklanja blago prema gore.

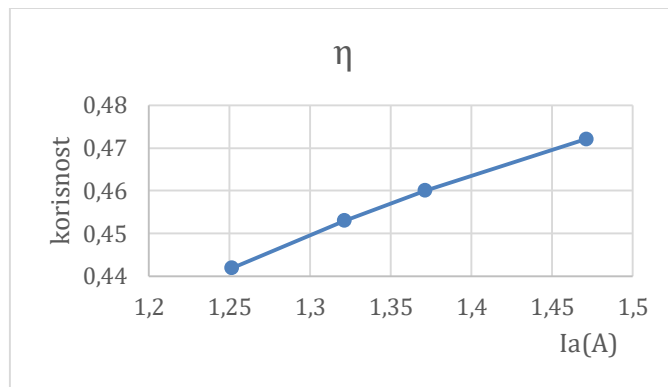


Slika 9.3. Grafički prikaz momenta na osovini motora

Korisnost ispitivanog istosmjernog motora s paralelnom uzbudom je relativno mala (48%) zbog relativno velikih gubitaka na uzbudi koja je u strujnom krugu.

Radi se o motoru male snage pa je utjecaj gubitaka na uzbudi, gubitaka na armaturi, gubitaka trenja i ventilacije vrlo veliki.

Kod motora većih snaga korisnost bi bila znatno veća.



Slika 9.4. Grafički prikaz korisnosti motora

10. Zaključak

Cilj teme završnog rada bio je dobiti sve elemente bilance snage (energetskog dijagrama toka snage) opterećenog istosmjernog motora s paralelnom uzbudom. Na osnovu tih podataka dobiven je uvid u rad motora kod raznih opterećenja. Prije samih rezultata opterećenja trebalo je odraditi pokus praznog hoda motora i dobiti gubitke u željezu rotora, te gubitke trenja i ventilacije.

Oni su bili potrebni kako bi upotpunili dijagram bilance snage opterećenog motora.

Istosmjerni motori s paralelnom uzbudom imaju vanjsku karakteristiku relativno krutu (to znači da broj okretaja s povećanjem opterećenja blago pada).

Oni se kao takvi mogu koristiti kod elektromotornih pogona koji zahtijevaju relativno konstantnu brzinu vrtnje (papirna industrija).

Danas se istosmjerni motori zbog svoje komplicirane konstrukcije (kolektor, četkice, komutacija, itd.) sve rjeđe koriste.

Zamjenjuju ih kavezni asinkroni motori s frekventnim pretvaračem koji su puno jednostavniji i jeftiniji od istosmjernih motora.

Ipak u starim elektromotornim pogonima istosmjerni motori još se mogu pronaći kao motori za pogon starih vlakova i tramvaja.

11. Literatura

- [1] <https://www.seminarski-diplomski.co.rs/ELEKTRONIKA/DC-motor.html>, dostupno 4. 6. 2021
- [2] Radenko Wolf: Osnove električnih strojeva, Školska knjiga, Zagreb 1995.
- [3] Josip Jureković: Električki strojevi, tiskara Orbis. d.o.o., Zagreb 2005.
- [4] <https://people.etf.unsa.ba/~jvelagic/laras/dok/Lekcija3.pdf>, dostupno 21. 6. 2021.
- [5] Mr. sc. Branko Tomičić, dipl. ing. : Električni strojevi , Zagreb 2004
- [6]<https://www.seminarski-diplomski.co.rs/ELEKTRONIKA/DC-motor.html>, dostupno 21.6.2021
- [7] https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/elektricni_strojevi.pdf, dostupno 4. 7. 2021.
- [8]<https://repozitorij.pfst.unist.hr/islandora/object/pfst%3A229/datastream/PDF/view>, dostupno 21. 6. 2021
- [9] <https://matrix.reshish.com/gauss-jordanElimination.php>, dostupno 21. 6. 2021.
- [10] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=63554>, dostupno 4. 7.2021.
- [11]https://www.fer.unizg.hr/download/repository/EMP_P3-4_2014%5B1%5D.pdf, dostupno 8. 7. 2021.
- [12]<https://riverglennapts.com/hr/starting-of-dc-motor/818-starting-methods-to-limit-starting-current-and-torque-of-dc-motor.html>,dostupno 4. 7. 2021.

Popis slika

Slika 1.1 Istosmjerni motor s označenim elementima [1].....	1
Slika 1.2. Slika istosmjernog motora iz laboratorija	2
Slika 2.1. Shematski prikaz istosmjernog stroja [2]	3
Slika 2.2. Shematski prikaz kretanja struje kod priključka generatora i motora na mrežu[3]	4
Slika 3.1. Karakteristika brzine vrtnje istosmjernog motora a) s paralelnom uzбудom, b) s kompaundacijom, c) s protukompaundacijom [2]	7
Slika 4.1. Shema spoja pokretanja istosmjernog motora[2].....	8
Slika 4.2. Struja u ovisnosti o brzini vrtnje[2]	9
Slika 5.1. Karakteristika generatorskog koćenja [4].....	10
Slika 5.2. Karakteristika protustrujnog koćenja [4].....	11
Slika 5.3. Karakteristika elektrodinamičkog koćenja[4].....	13
Slika 6.1. Karakteristike gubitaka i iskoristivost ovisno o opterećenju[3]	15
Slika 7.1. Paralelno spajanje vodova istosmjernog motora	16
Slika 7.2. Shema spoja pokusa praznog hoda	17
Slika 7.3. Oprema pokusa praznog hoda.....	17
Slika 7.4. Spojeni elementi prema shemi pokusa praznog hoda	19
Slika 7.5. Shema bilance snage praznog hoda istosmjernog motora s paralelnom uzбудom.....	20
Slika 7.6. Grafički prikaz užih gubitaka u odnosu na napon praznog hoda.....	22
Slika 8.1 Spojeni elementi prema shemi opterećenja istosmjernog motora s paralelnom uzбудom	23
Slika 8.2. Shema spoja pokusa opterećenja	24
Slika 8.3 Shema bilance snage opterećenja istosmjernog motora s paralelnom uzбудom.....	26
Slika 9.1. Grafički prikaz broja okretaja motora	28
Slika 9.2 Grafički prikaz korisne snage na osovini motora	29
Slika 9.3. Grafički prikaz momenta na osovini motora	30
Slika 9.4. Grafički prikaz korisnosti motora	31

Popis tablica

Tablica 7.1. Rezultati praznog hoda istosmjernog motora s paralelnom uzbuđom.....	21
Tablica 7.2. Prikaz rezultata mjerenja napona i snage.....	22
Tablica 8.1. Rezultati opterećenja istosmjernog motora s paralelnom uzbuđom.....	27



IZJAVA O
AUTORSTVUI
SUGLASNOST ZA JAVNU
OBJAVU

Završni/diplomski 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, **Matija Cvetko** (*ime i prezime*) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor završnog rada pod naslovom **Opterećenje istosmjernog motora s paralelnom uzbudom** (*upisati naslov*) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student:

(*upisati ime i prezime*)



(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, **Matija Cvetko** (*ime i prezime*) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog rada pod naslovom **Opterećenje istosmjernog motora s paralelnom uzbudom** (*upisati naslov*) čiji sam autor.

Student:

(*upisati ime i prezime*)



(vlastoručni potpis)